

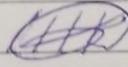
Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

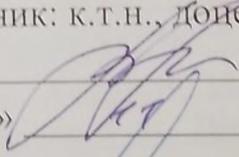
на тему:

«Підвищення пропускнув здатності зупинних пунктів  
маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування  
на прикладі зупинних пунктів по вулиці Келецька міста Вінниці»

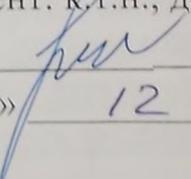
Виконав: здобувач 2-го курсу, групи 1ТТ-24м  
спеціальності 275 – Транспортні технології (за  
видами), спеціалізація 275.03 – Транспортні  
технології (на автомобільному транспорті)  
Освітньо-професійна програма – Транспортні  
технології на автомобільному транспорті

 Томляк К.І.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

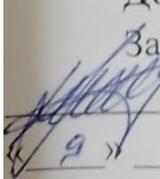
 Кашканов В.А.  
« 30 » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. ТАМ

 Сухоруков С.І.  
« 09 » 12 \_\_\_\_\_ 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

 к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« 9 » 12 \_\_\_\_\_ 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 27 – Транспорт  
Спеціальність 275 – Транспортні технології (за видами)  
Спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)  
Освітньо-професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
завідувач кафедри АТМ  
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

«25» 09 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Томляку Костянтину Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення пропускної здатності зупинних пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування на прикладі зупинних пунктів по вулиці Келецька міста Вінниці,

керівник роботи Кашканов Віталій Альбертович, к.т.н., доцент,  
затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

2. Строк подання здобувачем роботи: 30.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: інфраструктура міського громадського пасажирського транспорту м. Вінниця; облаштування зупинних пунктів посадковими майданчиками – за фактичними даними; інтенсивність транспортного потоку по вулиці Келецька – за фактичними даними; Законодавство України та діючі положення в галузі транспорту; район експлуатації автомобілів – м. Вінниця; об'єкт дослідження – процеси, що визначають пропускну спроможність зупинного пункту міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування; предмет дослідження – залежності пропускної спроможності зупинного пункту міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування від параметрів світлофорного регулювання, що визначають формування груп пасажирських ТЗ.

4. Зміст текстової частини:

1 Аналіз стану питання пропускної спроможності зупинних пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування.

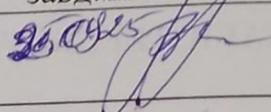
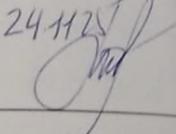
2 Забезпечення пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі на основі формування груп пасажирських транспортних засобів.

3 Моделювання пропускної спроможності зупинного пункту в умовах формування груп пасажирських транспортних засобів.

4 Оцінка ефективності запропонованих заходів.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
 1-3 Тема, мета та завдання дослідження.  
 4 Класифікація факторів, що визначають пропускну здатність зупинного пункту.  
 5 Характеристика зупинних пунктів міського пасажирського транспорту.  
 6 Вплив типу планувального рішення на пропускну спроможність зупинних пунктів міського громадського транспорту.  
 7 Методи підвищення пропускну спроможності зупинних пунктів та скорочення затримок ситуацій.  
 8 Елементи математичного опису руху пасажирських транспортних засобів.  
 9 Схеми формування груп пасажирських ТЗ на ділянці ВДМ.  
 10 Моделювання пропускну спроможності ділянки ВДМ.  
 11 Результати моделювання.  
 12, 13 Реалізація розробленої методики на ділянці вулиці Келецька.  
 14 Отримані результати.  
 15 Основні висновки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

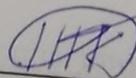
Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Кашканов В.А., доцент кафедри АТМ		30.11.25
Визначення ефективності запропонованих рішень	Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ	17.11.25	

7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

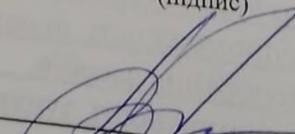
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	25.09-29.09.2025	Вик
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	30.09-20.10.2025	Вик
3	Обґрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	Вик
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-10.11.2025	Вик
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11-16.11.2025	Вик
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	17.11-24.11.2025	Вик
7	Нормоконтроль МКР		Вик
8	Попередній захист МКР	25.11-30.11.2025	Вик
9	Рецензування МКР	01.12-04.12.2025	Вик
10	Захист МКР	05.12-09.12.2025	Вик
		15.12.2025-17.12.2025	Вик

Здобувач

  
(підпис)

Томляк К.І.

Керівник роботи

  
(підпис)

Кашканов В.А.

## АНОТАЦІЯ

УДК 656.132

Томляк К.І. Підвищення пропускної здатності зупинних пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування на прикладі зупинних пунктів по вулиці Келецька міста Вінниці. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами), спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті), освітньо-професійна програма – «Транспортні технології на автомобільному транспорті». Вінниця: ВНТУ: 2025. 85 с.

На укр.мові. Бібліогр.: 36 назв; рис.: 16; табл. 18.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано аналіз сучасного стану питання пропускної спроможності зупинних пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування, проведено теоретичні дослідження щодо забезпечення пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі на основі формування груп пасажирських транспортних засобів, виконано моделювання пропускної спроможності зупинного пункту в умовах формування груп пасажирських транспортних засобів та здійснена оцінка ефективності запропонованих заходів на прикладі зупинних пунктів по вулиці Келецька міста Вінниці.

Графічна частина складається з 15 слайдів.

Ключові слова: пропускна спроможність, вулично-дорожня мережа, заторовий стан, міський пасажирський транспорт, зупинний пункт.

## ABSTRACT

UDC 656.132

Tomlyak K.I. Increasing the capacity of stops on public urban passenger transport routes using the example of stops on Keletska Street in Vinnytsia. Master's qualification work in the specialty 275 - Transport technologies (by type), specialization 275.03 - Transport technologies (on road transport), educational and professional program - "Transport technologies on road transport". Vinnytsia: VNTU: 2025. 85 p.

In Ukrainian. Bibliography: 36 titles; fig.: 16; tab. 18.

The master's qualification work analysed the current state of the issue of the capacity of stopping points on public urban passenger transport routes, conducted theoretical studies on ensuring the capacity of a section of the street and road network based on the formation of groups of passenger vehicles, performed modelling of the capacity of a stopping point in the conditions of the formation of groups of passenger vehicles, and assessed the effectiveness of the proposed measures using the example of stopping points on Keletska Street in Vinnytsia.

The graphic part consists of 15 slides.

Keywords: capacity, street and road network, congestion, urban passenger transport, stopping point.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗУПИННИХ ПУНКТІВ МАРШРУТІВ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ</b>	7
1.1 Аналіз факторів, що визначають пропускну спроможність пунктів зупинки міського пасажирського транспорту загального користування .....	7
1.2 Аналіз існуючих методів оцінки умов дорожнього руху .....	10
1.3 Класифікація та характеристика зупинних пунктів міського пасажирського транспорту .....	19
1.4 Шляхи зниження заторних процесів на пунктах зупинки маршрутів міського пасажирського транспорту .....	24
1.5 Висновки до розділу 1 та постановка задач дослідження .....	27
<b>2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ДІЛЯНКИ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ ГРУП ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ</b> .....	28
2.1 Математичний опис руху пасажирських транспортних засобів, які обслуговують регулярні маршрути міського пасажирського транспорту .....	28
2.2 Теоретичне обґрунтування процесу формування груп пасажирських транспортних засобів, які обслуговують регулярні маршрути міського пасажирського транспорту .....	40
2.3 Висновки до розділу 2 .....	50
<b>3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗУПИННОГО ПУНКТУ В УМОВАХ ФОРМУВАННЯ ГРУП ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ</b> .....	52
3.1 Опис алгоритму моделювання .....	52
3.2 Ранжування факторів, що впливають на пропускну спроможність зупинних пунктів, що визначається з урахуванням формування груп ТЗ .....	57

3.3 Результати моделювання пропускну́ї спроможності пунктів зупинки в умовах формування груп пасажирських ТЗ .....	60
3.4 Висновки до розділу 3 .....	66
<b>4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ .....</b>	<b>68</b>
4.1 Реалізація розробленої методики на ділянці вулиці Келецька (зупинний пункт «вул. Шевченка») .....	68
4.2 Реалізація розробленої методики на ділянці вулиці Келецька (зупинний пункт «проспект Космонавтів») .....	73
4.3 Висновки до розділу 4 .....	78
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>79</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>81</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>85</b>
Додаток А. Ілюстративна частина	
Додаток Б. Протокол перевірки МКР на плагіат	

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Стійкою тенденцією розвитку міських транспортних систем, характерною для більшості країн світу, є зростання рівня автомобілізації та пов'язане з цим загострення технологічних, організаційних, планувальних та екологічних проблем. Одним із напрямків вирішення зазначених проблем є підвищення привабливості та провізної здатності міського пасажирського транспорту, зниження частки транспортних кореспонденцій транспортними засобами індивідуального користування. При цьому реалізація заходів, спрямованих на вдосконалення роботи міського пасажирського транспорту загального користування, часто призводить до збільшення інтенсивності його руху. Збільшення чисельності пасажирських транспортних засобів, у свою чергу, є причиною надлишкового навантаження на транспортну інфраструктуру.

Виходячи з зазначених проблем, визначено актуальність розробки та реалізації заходів, спрямованих на підвищення пропускнуєї спроможності об'єктів транспортної інфраструктури, насамперед пунктів зупинки міського пасажирського транспорту.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Матеріали роботи є результатом досліджень, проведених у рамках таких програм, концепцій та наказів як: «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р., №430-р); «Про затвердження Правил експлуатації колісних транспортних засобів» (Наказ Міністерства інфраструктури України від 26.07.2013 р., №550). Дослідження є частиною основних наукових напрямків кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент» Вінницького національного технічного університету та були виконані відповідно до плану науково-дослідних робіт ВНТУ на 2024-2025 рр.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розробка теоретичних і практичних рекомендацій щодо оцінки пропускнуєї спроможності зупинних пунктів міської пасажирської мережі та необхідності її підвищення для уникнення

утворення черг міського громадського транспорту перед зупинкою та зменшення випадків блокування смуг руху або формування локальних заторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- виконати аналіз стану питання пропускної здатності зупинних пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування;
- дослідити забезпечення пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі на основі формування груп пасажирських транспортних засобів;
- виконати моделювання пропускної спроможності зупинного пункту в умовах формування груп пасажирських транспортних засобів;
- оцінити ефективність запропонованих заходів.

**Об'єкт дослідження** – процеси, що визначають пропускну спроможність зупинного пункту міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування.

**Предмет дослідження** – залежності пропускної спроможності зупинного пункту міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування від параметрів світлофорного регулювання, що визначають формування груп пасажирських транспортних засобів.

**Методи дослідження.** Дослідження виконані за допомогою загальнонаукових методів досліджень, таких як абстрагування, аналіз, синтез, пояснення, класифікація, узагальнення.

**Новизна одержаних результатів** отримана через виявлені залежності пропускної спроможності зупинного пункту від параметрів світлофорного регулювання, що відрізняються врахуванням процесів формування груп транспортних засобів, що синхронно обслуговуються зупинним пунктом.

**Практична значимість отриманих результатів.** Отримані результати містять перспективні напрямки підвищення пропускної здатності дорожньої інфраструктури міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування.

**Вірогідність отриманих результатів** забезпечується завдяки правильній постановці завдань дослідження, послідовному та систематичному використанню математичних методів, спрямованих на їх розв'язання.

**Апробація результатів роботи.** Деякі положення роботи доповідалися та обговорювалися на:

1) XVIII-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року. Вінницький національний технічний університет [та інш.]. Вінниця.

2) VI-й міжнародній науково-практичній конференції «Інновації у системах управління безпекою та дорожнім рухом» 18-19 листопада 2025 р. ХНАДУ. Харків.

**Публікації.** Основні висновки та результати проведених досліджень автора представлені у наукових публікаціях [15, 16].

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗУПИННИХ ПУНКТІВ МАРШРУТІВ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

## 1.1 Аналіз факторів, що визначають пропускну спроможність пунктів зупинки міського пасажирського транспорту загального користування

На практиці реалізація більшості заходів, спрямованих на підвищення якості транспортного обслуговування населення за такими показниками, як регулярність, надійність і доступність пов'язана зі збільшенням чисельності транспортних засобів (ТЗ) на маршрутах, і, як наслідок, на магістральних міських вулицях. Зростання чисельності пасажирських транспортних засобів, їх концентрація на міських магістралях (особливо у години пікових пасажиропотоків), неузгодженість графіків руху ТЗ різних маршрутів призводять до формування заторних процесів на пунктах зупинки, що призводить до значного зниження ефективності роботи міського пасажирського транспорту, ефективності використання вулично-дорожньої мережі та транспортної інфраструктури.

Вплив регульованих перетинів, параметрів транспортної інфраструктури та інших факторів на пропускну спроможність зупинних пунктів описано у наукових працях [2, 5, 9, 13, 16, 22 та ін]. У цих роботах зазначено, що регульовані перетини найчастіше є об'єктами, що обмежують пропускну спроможність як ділянок вулично-дорожньої мережі, так і пунктів зупинки міського пасажирського транспорту. Цей факт пояснюється затримкою доступу пасажирських транспортних засобів до пунктів зупинки в періоди заборонного сигналу світлофора.

Пасажирські транспортні засоби, що накопичуються на регульованому перетині, надходять на розташований за цим перетином зупиночний пункт групами. Таким чином, формується циклічна нерівномірність завантаження пункту зупинки, що є одним з основних факторів, що сприяють розвитку заторних

процесів і призводять до зниження пропускної спроможності транспортної інфраструктури.

Будучи методичною основою дослідження заторних процесів на пунктах зупинки міського пасажирського транспорту, зазначені наукові роботи не містять інформації про вплив структурних параметрів груп транспортних засобів та планувальних параметрів зупинного пункту на його пропускну спроможність.

У роботах Долі В.К. та Яновського П.О. [5, 26] наведено теоретичні залежності, що характеризують взаємозв'язок між інтенсивністю пасажиропотоку, режимами руху та затримками автобусів у місцях зупинок. Дослідження М.Є. Кристопчука та О.О. Лобашова [17] акцентують увагу на ролі довжини посадкового майданчика, кількості смуг руху біля зупинки, конфігурації під'їзних шляхів та типу зупинки (вирізка, "кишеня", зупинка на проїзній частині) у формуванні її пропускної спроможності.

У працях американських і європейських транспортних інститутів, зокрема у Highway Capacity Manual (HCM) [34], докладно розглянуто вплив світлофорного регулювання, циклових фаз, затримок на перехрестях та відстані між суміжними зупинками на середню швидкість руху автобусів і на їхню регулярність. Дослідження Butkevičius J. [28] демонструють, що пропускна спроможність зупинних пунктів безпосередньо залежить від тривалості операцій посадки-висадки, типу дверей автобуса, пасажиромісткості, а також від рівня організації пасажиропотоку на платформі.

Окремі аспекти впливу дорожньо-транспортної інфраструктури на роботу зупинок розглянуто в роботах українських учених Нагребельної Л.П. та Степанчука О.В. [22; 25], які доводять, що такі параметри, як стан дорожнього покриття, наявність спеціальних виїмок для заїзду автобуса, організація елементів безпеки та інформаційного оснащення, істотно змінюють інтенсивність обслуговування пасажирів та величину затримок у транспортному потоці.

Аналіз змісту вищеназваних авторів, а також інших робіт дозволив виявити п'ять груп факторів, що визначають пропускну спроможність зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту та формуються такими складовими міської

транспортної системи: вулично-дорожня мережа; параметри транспортного потоку; структура парку пасажирських транспортних засобів; параметри пасажиропотоків; конструктивно-планувальні параметри пункту зупинки. Запропонований поділ дозволив скласти класифікаційну схему, представлену на рисунку 1.1.

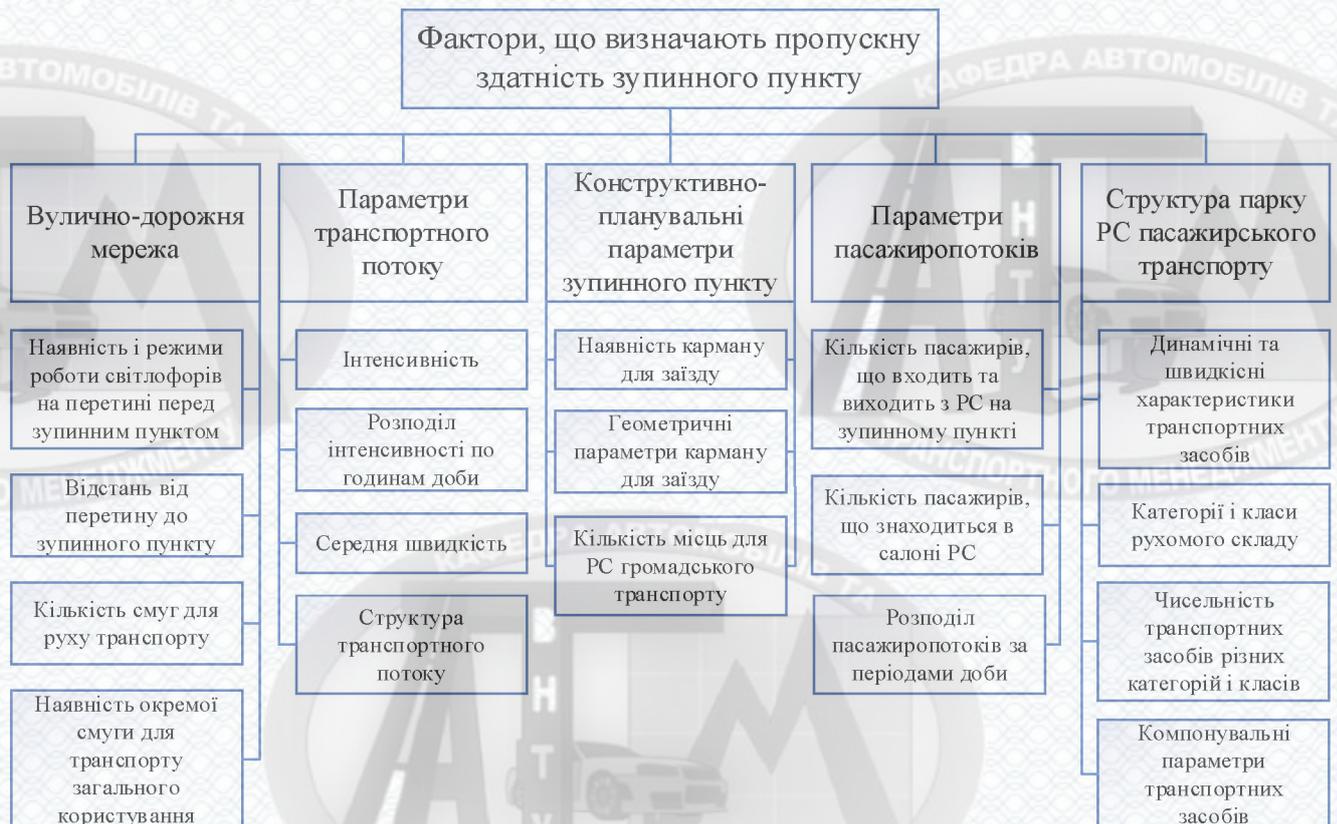


Рисунок 1.1 – Схема факторів, що визначають пропускну спроможність зупинного пункту міського пасажирського транспорту загального користування

На основі аналізу схеми, представленої на рисунку 1.1, та інформації, наведеної в розглянутих наукових працях, висунуто гіпотезу про те, що при певному поєднанні факторів, що задаються параметрами вулично-дорожньої мережі, транспортного потоку, інтенсивності руху та структурою парку пасажирських транспортних засобів можуть бути створені умови, що забезпечують формування груп пасажирських транспортних засобів. Синхронне обслуговування

груп пасажирських транспортних засобів зупинним пунктом забезпечує підвищення його пропускної спроможності.

Затримки на зупинних пунктах становлять від 25 до 40 % загального часу поїздки на автобусі [20].

Чим довше автобус простоє на зупинці, тим:

- більша ймовірність «пучкування» автобусів;
- нижчою стає регулярність руху пасажирського транспорту;
- зростає час очікування для пасажирів;
- погіршується прогнозованість транспортної послуги.

У міжнародних дослідженнях доведено, що збільшення часу обслуговування всього на 5-10 секунд призводить до зниження фактичної пропускної спроможності зупинки на 10-20 %.

## 1.2 Аналіз існуючих методів оцінки умов дорожнього руху

Розвиток сучасних підходів і методів управління на автомобільному транспорті, зокрема у сфері організації та регулювання дорожнього руху, забезпечує досягнення таких результатів, які підвищують економічну ефективність, рівень безпеки та комфортність перевезень. Основним виробничим процесом у галузі автомобільного транспорту є дорожній рух, тобто переміщення транспортних потоків по автомобільних дорогах.

Цей процес доцільно розглядати як функціонування системи «дорожні умови – транспортні потоки» (ДУ-ТП) [23]. Організація дорожнього руху передбачає дослідження структури цієї системи та вдосконалення окремих її компонентів з метою забезпечення більш ефективної взаємодії між ними. У зв'язку з цим постає завдання управління дорожнім рухом, тобто управління системою ДУ–ТП.

Управління будь-якою складною системою передбачає здійснення перетворення інформації, що циркулює між об'єктом управління та системою управління. Отже, оптимальне управління базується на обробці двох видів інформації:

- відомостей, які надходять від сенсорних або спостережних пристроїв щодо стану об'єкта;
- керуючих впливів, що передаються від системи управління до об'єкта.

Процес управління включає такі основні етапи:

- збирання та опрацювання інформації щодо стану системи;
- оцінка її поточного стану;
- прогнозування зміни параметрів системи через удосконалення її окремих елементів;
- визначення оптимальних параметрів функціонування системи.

Розв'язання задачі управління дорожнім рухом потребує розроблення адекватної математичної моделі системи. Метою оптимальної організації дорожнього руху є мінімізація сукупних транспортних витрат за умови повної реалізації необхідних обсягів автомобільних перевезень і забезпечення заданих рівнів швидкості, безпеки та комфортності руху.

Одним із ключових чинників погіршення транспортної ситуації у містах є швидке зростання кількості транспортних засобів за відсутності пропорційного розвитку стану проїзної частини вулично-дорожньої мережі. На багатьох ділянках міських магістралей інтенсивність руху вже перевищує їхню пропускну спроможність. Утворення заторів на основних транспортних коридорах стало системною проблемою, вирішення якої потребує комплексного науково обґрунтованого підходу.

Під транспортним затором розуміють ситуацію, коли рух транспортних засобів відбувається з у край низькими швидкостями – зазвичай від 0 до 10 км/год (інколи до 15 км/год) [23] – у результаті роботи вулиці або дороги на рівні високої або критичної завантаженості.

Значна група задач, пов'язаних з алгоритмами управління дорожнім рухом, ґрунтується на використанні залежностей між основними параметрами транспортного потоку. Ці залежності встановлюються за допомогою фізичних аналогій та дозволяють описати процес руху як окремого транспортного засобу, так

і цілого потоку аж до утворення заторів, визначаючи при цьому пропускну спроможність дороги.

Такі залежності представлені у вигляді основних діаграм транспортного потоку: «інтенсивність – щільність»; «інтенсивність – швидкість»; «швидкість – щільність». Між цими показниками існує фундаментальний зв'язок:

$$N(V) = V \cdot q(V), \quad (1.1)$$

$$N(q) = V(q) \cdot q.$$

Попри відмінності у фізичних підходах, що лежать в основі різних моделей транспортного потоку, усі вони описують однакову закономірність розвитку процесу руху. Зі зростанням інтенсивності руху спостерігається поступове зниження середньої швидкості транспортних засобів та збільшення щільності потоку. Після досягнення максимально можливої інтенсивності подальше збільшення щільності призводить до різкого зменшення швидкості аж до її нульового значення, що фактично означає повне припинення руху.

Основна діаграма транспортного потоку відображає ключові властивості та параметри процесу руху, включаючи просторово-часові залежності, а також умови виникнення можливих перешкод чи ускладнень в русі. При цьому на такій діаграмі можна з високою точністю окреслити лише три фундаментальні точки, які характеризують базові стани транспортного потоку:

- 1) рух ще не почався: при  $N = 0, q = 0, V = 0$ ;
- 2) максимальна інтенсивність руху: при  $N = N_{\max}, q = q_{\text{opt}}, V = V_{\text{opt}}$ ;
- 3) затор з повною зупинкою руху: при  $N = 0, q = q_{\max}, V = 0$ , де  $N_{\max}$  – максимальна інтенсивність руху;  $q_{\text{opt}}$  – оптимальна щільність потоку;  $V_{\text{opt}}$  – оптимальна швидкість потоку.

Визначення пропускнуої спроможності автомобільної дороги є досить складним завданням [9], оскільки її величина залежить від режимів руху, а отримане розрахункове значення – від точності та адекватності застосованої моделі

або схематизації. Більшість інших характерних точок основної діаграми транспортного потоку на сьогодні не мають однозначного трактування та допускають різні інтерпретації залежно від обраної фізичної аналогії. Водночас дотримання закономірностей, визначених основною діаграмою транспортного потоку, є обов'язковою умовою коректності будь-якої теорії транспортного потоку [4].

Лише за наявності достовірних даних про швидкості окремих транспортних засобів і середню швидкість потоку за певний часовий інтервал, про інтенсивність руху та щільність транспортного потоку, а також за інформацією щодо просторових і часових інтервалів між автомобілями та типів транспортних засобів – та за умови застосування відповідних алгоритмів – можна формувати ефективні керуючі дії, серед яких:

- коригування швидкості руху;
- зміна напрямку руху на багатосмугових дорогах;
- регулювання кількості смуг та їх призначення;
- введення заборон або обмежень на обгони;
- зміна інтервалів руху;
- перерозподіл транспортних потоків між альтернативними маршрутами;
- інші види обмежень, що сприяють підвищенню комфорту руху, скороченню часових втрат та зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод.

Загальне уявлення про стан транспортного затору демонструється на основній діаграмі транспортного потоку (рис. 1.2).

Основна діаграма транспортного потоку відображає зміну параметрів однорідного потоку переважно легкових автомобілів залежно від зростання його інтенсивності та щільності. Ліва частина кривої (рис. 1.2), яка позначена суцільною лінією, характеризує стійкий режим руху. У цьому діапазоні зі збільшенням щільності потік послідовно проходить фази вільного та частково зв'язаного руху, досягаючи точки максимальної можливої інтенсивності, тобто пропускної спроможності дороги. У процесі цього переходу середня швидкість руху

зменшується. Вона визначається тангенсом кута нахилу  $\alpha$  радіуса-вектора, що з'єднує початкову точку координат із будь-якою точкою кривої.

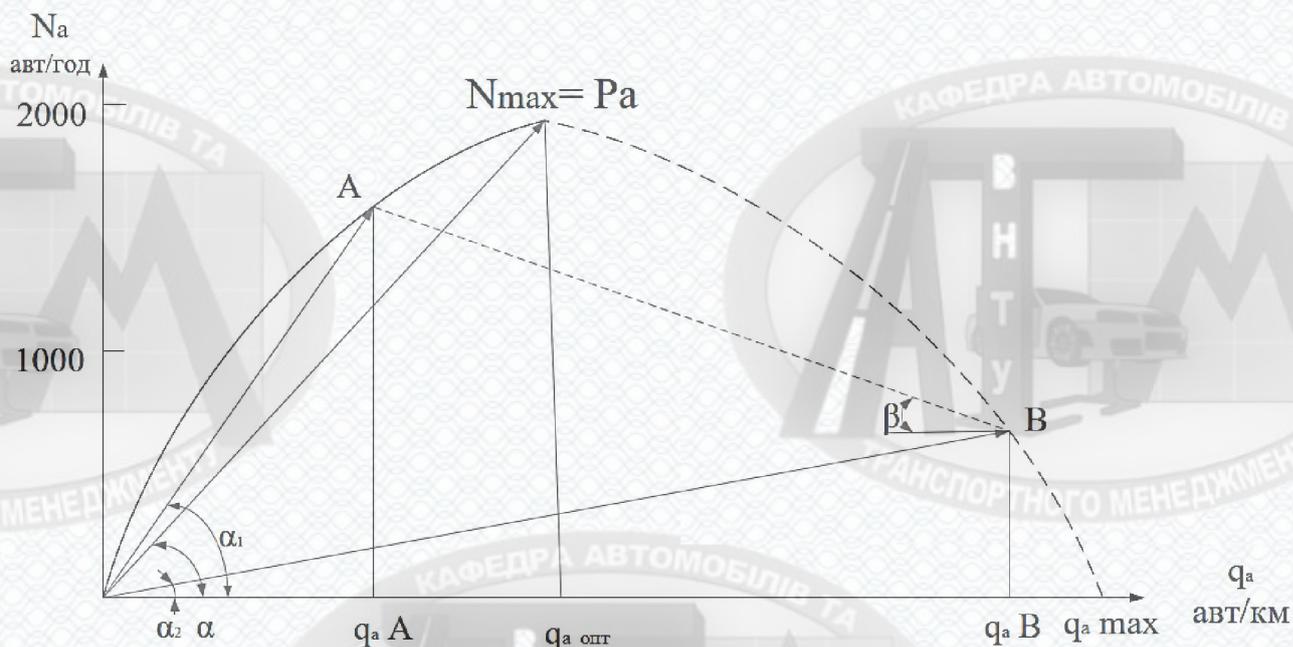


Рисунок 1.2 – Основна діаграма транспортного потоку [34]

У крайніх точках 0 та  $q_{a\text{max}}$  інтенсивність руху  $N_a = 0$ , що означає або відсутність транспортних засобів на дорозі, або стан повного транспортного затору. Точка максимальної інтенсивності  $N_{a\text{max}} = P_a$  відповідає оптимальному співвідношенню швидкості та щільності потоку для забезпечення пропускної спроможності. Подальше збільшення щільності призводить до втрати стійкості потоку, що на діаграмі позначено пунктирною лінією.

Разом з тим основна діаграма дає змогу описати транспортний потік лише за умови його однорідності та відносно стабільних зовнішніх чинників. Будь-які зміни у стані дорожнього покриття, видимості, складі транспортного потоку, а також особливості вертикального і горизонтального профілю дороги неминуче впливають на форму та параметри діаграми.

У контексті аналізу транспортних процесів важливо уточнити поняття транспортного затору, його природу, класифікаційні ознаки, чинники виникнення та можливі шляхи запобігання або ліквідації. Відповідно до визначення, похідного від основної діаграми транспортного потоку [34], дорожній затор — це стан

транспортної мережі, що супроводжується істотним зменшенням фактичної пропускної спроможності, збільшенням часу проїзду та формуванням черг транспортних засобів. Для автомобільного транспорту затор виникає в тих випадках, коли пропускна спроможність дороги або окремих її перехресть є меншою за потребу потоку.

Найбільш поширеним у науковій літературі є визначення, наведене в [34]. Згідно з ним, дорожній затор – це фактично нерухомий стан транспортного потоку, що формується внаслідок критичного ущільнення потоку через те, що інтенсивність прибуття транспортних засобів суттєво перевищує пропускну спроможність конкретної ділянки мережі. У таких умовах коефіцієнт завантаження  $Z$  цього елемента вулично-дорожньої мережі перевищує 1, що свідчить про перевантаження.

Незважаючи на широке поширення заторових явищ у містах, питання прогнозування їх появи, моделювання тривалості та розроблення ефективних методів ліквідації залишаються недостатньо дослідженими.

Для розв'язання проблем організації дорожнього руху у межах міської вулично-дорожньої мережі необхідним є передбачення поведінки транспортного потоку в різних умовах. Це можливо реалізувати за допомогою моделювання динаміки параметрів транспортних потоків та аналізу їх змін у часі та просторі.

Відповідно до положень теорії транспортних потоків [34], заторові стани можуть виникати під час руху щільних транспортних потоків, коли фактична інтенсивність руху на певній ділянці дорівнює її практичній пропускній спроможності. З огляду на те, що вулично-дорожня мережа міст складається з двох основних елементів – перегонів та перехресть – виокремлюють два типи заторів:

- затор на перегоні, що формується внаслідок перевищення фактичної інтенсивності руху над пропускну здатністю смуг руху;
- затор перед перехрестям, який виникає, коли кількість автомобілів, що прибувають до стоп-лінії, перевищує число транспортних засобів, здатних пройти перехрестя протягом одного циклу світлофорного регулювання.

У першому випадку затори з'являються у так званих «вузьких місцях» проїзної частини – ділянках, де пропускна спроможність різко зменшується. Це може бути спричинено:

- зменшенням кількості смуг руху;
- стоянкою чи зупинкою транспортних засобів уздовж краю дороги;
- проведенням ремонтних або аварійно-відновлювальних робіт;
- дорожньо-транспортними пригодами тощо.

У таких умовах водії змушені часто змінювати смуги руху, що спричиняє зниження швидкості руху та пришвидшує утворення затору.

Міські вулиці мають низку ділянок, де умови руху погіршуються, і саме там найчастіше виникають затримки. Заторні явища значно відрізняються між собою за джерелами виникнення, інтенсивністю прояву, масштабом поширення та тривалістю існування. У [34] запропоновано класифікацію заторів, яка включає: постійні; випадкові; непередбачувані.

Постійні або регулярні затори виникають у місцях, де пропускна спроможність елемента мережі хронічно недостатня – здебільшого це перехрестя зі світлофорним регулюванням, що не забезпечують пропуск необхідної кількості автомобілів, або ділянки дорожньої мережі зі стійким звуженням проїзної частини (наприклад, через тривалі ремонтні роботи). Такі затори часто проявляються у вигляді «пульсуючого потоку», який рухається лише під час зеленої фази світлофора. Регулярні затори можна прогнозувати, однак їх усунення можливе переважно шляхом комплексної реконструкції або розширення магістралей, що не завжди є технічно чи економічно можливим.

Випадкові затори виникають раптово та в будь-якій точці мережі, зазвичай унаслідок масштабних ДТП. Ліквідація таких заторів може тривати 3-4 години або більше, а пропускна здатність дороги при цьому зменшується удвічі або навіть повністю втрачається. Подібні ситуації можуть бути спричинені аваріями на підземних інженерних мережах, що потребують термінового перекриття руху або часткового закриття проїжджої частини для роботи аварійних служб.

Концепція «вузьких місць» за К. Доганзо. Карлос Доганзо у своїх працях [29] висунув гіпотезу, згідно з якою основною причиною виникнення заторів є «вузькі місця» – ділянки дороги, де відбувається різка зміна пропускної спроможності. Він виокремив кілька типів таких місць:

1. Активні вузькі місця – ситуації, коли інтенсивність вхідного потоку перевищує можливості вихідного. Виявлення таких зон дозволяє ефективно прогнозувати та попереджувати затори.

2. Злиття потоків – об'єднання декількох потоків у один. Згідно з теорією, стабільний вихідний потік можливий лише тоді, коли він не перевантажений. Якщо ж сумарний обсяг потоків перевищує пропускну здатність точки злиття, то формується черга.

3. Розширення – різновид активних вузьких місць, коли одна з гілок розширення систематично перевищує свою пропускну спроможність, унаслідок чого затор поширюється на підхідні ділянки дороги.

Попри те, що в роботах [27-29] детально розглянуто транспортні потоки та структуру вулично-дорожньої мережі, питання заторових явищ залишаються недостатньо висвітленими. Запропонованим шляхом боротьби з перевантаженням є удосконалення систем управління дорожнім рухом.

Ключовим індикатором транспортних умов є щільність потоку, що визначає можливість маневрування транспортних засобів. Вона прямо пов'язана з рівнями свободи руху – відстані між автомобілями у потоці.

Важливим параметром є також коефіцієнт завантаження дороги  $Z$ , який визначається як відношення фактичної інтенсивності руху  $N$  до практичної пропускної спроможності  $P$  відповідної ділянки дороги.

У США застосовується класифікація заторів на основі відсотка зайнятої площі смуги транспортними засобами:

- понад 35% – режим «старт-стоп» (stop-and-go);
- 22–35% – утруднений рух;
- 15–20% – помірний рух;
- 0–15% – вільний рух.

К. Доганзо вважає, що затори виникають тоді, коли локальні збурення швидкості не затухають, а поширюються у напрямі вгору за потоком, формуючи скупчення транспортних засобів. Основним об'єктом дослідження, на його думку, повинні бути саме черги – їх структура та закономірності розвитку.

Б. Кернер, спираючись на багаторічні емпіричні дослідження, сформував теорію трьох фаз руху:

1. Вільний потік – водії підтримують бажану швидкість і вільно маневрують.
2. Синхронізований потік – швидкість усіх автомобілів знижується до спільного рівня, маневрування обмежується.
3. Широкі рухомі затори – утворюються «хвилі», що поширюються проти напрямку руху, подібно до фазових переходів у рідинах.

Висновки Кернера:

- затори не виникають безпосередньо у вільному потоці – вони з'являються після переходу до синхронізованого;
- що нижча швидкість у синхронізованій фазі, то частіше формуються затори;
- у синхронізованому потоці не існує режимів із високою щільністю та низькою швидкістю без заторів.

Як свідчать наведені результати, формування, поширення та розвиток заторів тісно пов'язано з динамічними параметрами транспортного потоку, такими як:

- характер збурень у потоці;
- їх швидкість і напрям поширення;
- щільність транспортного потоку;
- стан вулично-дорожньої мережі.

Оперативна оцінка стійкості транспортного потоку стає ключовою умовою ефективного управління дорожнім рухом.

Усунення затору є значно складнішим завданням, ніж його попередження. Для цього потрібен:

- вищий рівень управління транспортною мережею;
- можливість перерозподілу транспортних потоків;
- скоординована робота системи керування рухом на кількох перехрестях.

### 1.3 Класифікація та характеристика зупинних пунктів міського пасажирського транспорту

Зупинні пункти міського громадського пасажирського транспорту є ключовими елементами транспортної інфраструктури, які забезпечують організацію посадки та висадки пасажирів, формування потоків руху автобусів, тролейбусів і трамваїв, а також впливають на пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі [5]. Їх класифікація ґрунтується на планувальних, функціональних та технологічних характеристиках зупинки, що визначають рівень її впливу на транспортний потік.

У науковій літературі та методичних рекомендаціях виділяють такі основні типи зупинних пунктів [4, 5, 11, 17, 26]:

1. Придорожня (лінійна) зупинка на проїзній частині (див. рисунок 1.3).

Це найбільш поширений тип зупинних пунктів, коли транспортний засіб зупиняється безпосередньо на смузі загального користування. Особливості такої зупинки, що автобус або тролейбус зупиняється у транспортному коридорі, тимчасово блокуючи рух за собою. Затримки формуються як у громадського транспорту, так і в індивідуального транспорту. Ефективність такої зупинки сильно залежить від інтенсивності руху, проте вона забезпечує мінімальні витрати на її створення і використовується на вулицях із малою або середньою інтенсивністю руху.

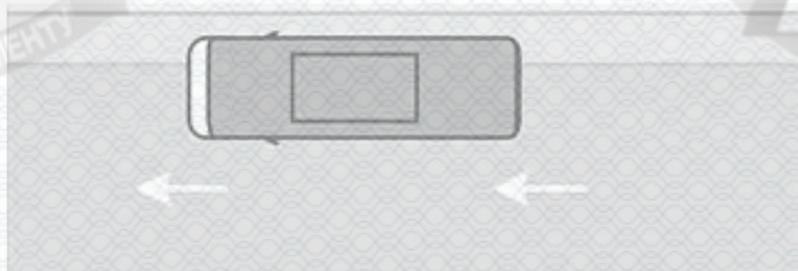


Рисунок 1.3 – Придорожня (лінійна) зупинка на проїзній частині

До переваг такої зупинки можна віднести простоту її реалізації в транспортній інфраструктурі з мінімальними капітальними витратами та мінімальні часові втрати для автобусів при поверненні в потік.

Недоліки: зниження пропускної спроможності дороги та збільшення аварійності на вузьких вулицях.

## 2. Зупинка у заїзній “кишені” (bus-bay) (див. рисунок 1.4).

Це спеціальні відступи від проїзної частини, які дозволяють автобусам виконувати зупинку, не перешкоджаючи руху інших транспортних засобів. Зупинка розташовується в окремій заглибині біля тротуару. Після завершення посадки автобус має «вписатися» в транспортний потік, що інколи створює затримки. Застосовується на магістралях із високою інтенсивністю індивідуального автомобільного транспорту.



Рисунок 1.4 – Зупинка у заїзній “кишені”

Переваги: пропускна спроможність загального потоку не знижується та зберігається підвищена безпека для пасажирів.

Недоліки: затримка при виїзді зі зупинки за високої інтенсивності потоку; вищі інфраструктурні витрати.

## 3. Виступаюча зупинка (bus-bulb, curb extension), зображена на рисунку 1.5.

Посадкова платформа, яка «виступає» в проїзну частину, дозволяючи автобусу зупинятися без заїзду в кишеню. Автобус зупиняється в потоці і не витрачає час на заїзд і виїзд. Платформа виходить за межі тротуару, скорочуючи відстань для пішоходів.

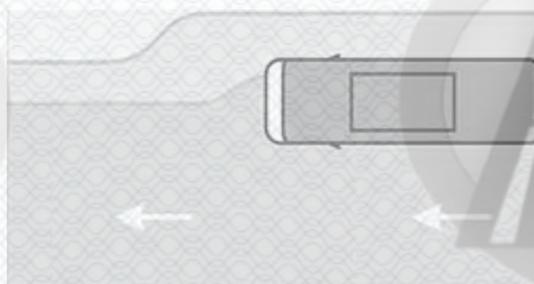


Рисунок 1.5 – Виступаюча зупинка

Переваги: зменшення часу зупинки та загальних затримок; підвищення безпеки пішоходів; можливість облаштування такої зупинки при обмеженій ширині вулиці.

Недоліки: тимчасове блокування руху під час зупинки; потреба в чіткій організації світлофорного регулювання.

#### 4. Острівна (центральна) зупинка (див. рисунок 1.6).

Використовуються переважно в трамвайних системах або для BRT-маршрутів, що проходять по центральним смугам. BRT-маршрут (або метробус) – це маршрут швидкісного автобусного транспорту, створений для підвищення швидкості та надійності міських перевезень за рахунок використання виділених смуг, пріоритету на світлофорах та інших заходів для зниження затримок.

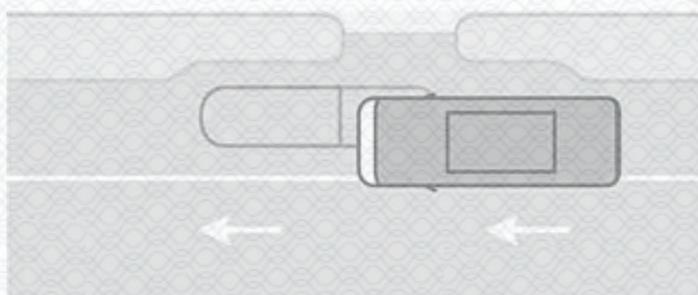


Рисунок 1.6 – Острівна (центральна) зупинка

Острівна (центральна) зупинка розташовуються на виділених смугах або острівцях безпеки і вимагає спеціально організованих переходів для пішоходів, забезпечують високий рівень пріоритету громадського транспорту.

Переваги: відсутність взаємодії з автомобільним транспортом; висока пропускна спроможність; можливість організації швидкісних маршрутів.

Недоліки: необхідність ускладненої інфраструктури; потреба в ширших вулицях.

#### 5. Комбіновані зупинкові зони.

Це зупинки, інфраструктура яких поєднує елементи кількох типів (острівні + кишені, лінійні + винесені платформи тощо). Із застосуванням комбінованих зупинкових зон може забезпечуватися гнучка конфігурація, що адаптується до місцевих умов; може покращувати безпеку пасажирів та ефективність руху.

Переваги: можливість врахування особливостей конкретної вулиці; універсальність та варіативність при модернізації.

#### 6. Спеціалізована зупинка у виділеній смузі (див. рисунок 1.7).

Використовуються для BRT-маршрутів на повністю відокремлених смугах руху. Застосовується платформна організація посадки на рівні підлоги автобуса. Використовується світлофорний пріоритет та інтелектуальні системи керування.

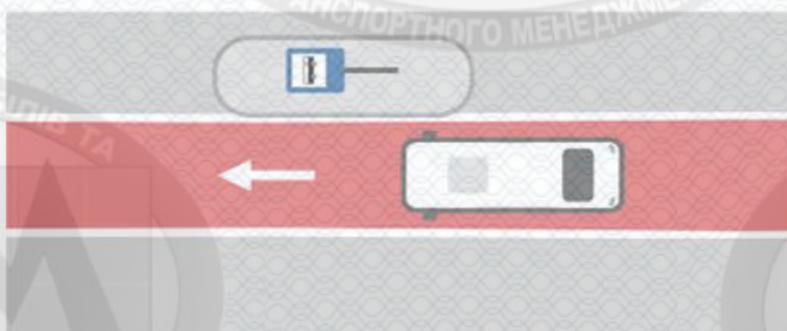


Рисунок 1.7 – Спеціалізована зупинка на ізолюваному коридорі (виділеній смузі)

Переваги: мінімальні затримки; висока швидкість руху; можливість обслуговування великих пасажиропотоків.

Пропускну спроможність різних типів зупинних пунктів міського пасажирського транспорту наведемо у порівняльній таблиці (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Пропускна спроможність зупинних пунктів міського громадського транспорту залежно від типу планувального рішення [17, 26]

Тип зупинного пункту	Характеристика руху на зупинці	Пропускна спроможність, автобусів/год	Пропускна спроможність, пас.-од./год
Зупинка на смузі руху (лінійна)	Автобус зупиняється в загальному транспортному потоці, перешкоджаючи руху	20–30	70–90
Зупинка у “кишені” (bus-bay)	Автобус заїжджає в окрему виїмку, не блокуючи потік	30–40	90–110
Зупинка-виступ (bus-bulb)	Автобус не заїжджає у кишеню, мінімальні втрати часу	40–55	120–150
Острівна (центральна) зупинка	Для BRT, трамваю або центральної смуги; мінімальна взаємодія з потоком	50–70	150–180
Зупинка на виділеній смузі	Транспорт рухається безперервно, з виділеним коридором	60–90	160–220
BRT-зупинка на ізольованому коридорі	Максимальний пріоритет, можливість обслуговування декількох автобусів одночасно	90–120	220–300

#### 1.4 Шляхи зниження заторних процесів на пунктах зупинки маршрутів міського пасажирського транспорту

Ефективність тих чи інших способів зниження ймовірності дорожніх заторів на пунктах зупинки міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ) доцільно оцінювати виходячи з аналізу їх особливостей, переваг і недоліків. Результати огляду зазначених методів представлені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати огляду методів підвищення пропускної спроможності зупинних пунктів міського пасажирського транспорту

Найменування методу	Особливості	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
Організація виділених смуг для МГПТ	МГПТ, рухаючись по виділеній смузі, не стоїть у дорожніх заторах разом з іншими ТЗ	1. Підвищення ефективності роботи МГПТ. 2. Зниження середнього часу поїздки одного пасажиря. 3. Зниження негативного впливу пасажирського транспорту загального користування на довкілля.	1. Зниження загальної пропускної спроможності дороги. 2. Погіршення дорожніх умов власникам автомобілів.

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
<p>Заборона паркування транспортних засобів на найбільш завантажених ділянках міської території</p>	<p>Паралельне застосування «перехоплюючих» паркувань при умові організації налагодженої роботи МГПТ</p>	<p>1. Зниження навантаження на вулично-дорожню мережу та міську транспортну інфраструктуру. 2. Оздоровлення екологічних показників міського транспортного комплексу.</p>	<p>Погіршення транспортної доступності міської території</p>
<p>Поділ посадочних місць на одному пункті зупинки</p>	<p>Розподіл проводиться за допомогою спеціальних знаків та огорож</p>	<p>1. Скорочення витрат часу на посадку та висадку пасажирів. 2. Підвищення пропускної спроможності зупинного пункту. 3. Підвищення продуктивності ТЗ міського пасажирського транспорту.</p>	<p>1. Збільшення розмірів та вартості зупинних пунктів. 2. Незручність посадки для пасажирів, які використовують кілька альтернативних маршрутів.</p>

Досить докладний огляд методів зменшення заторів і, як наслідок, підвищення ефективності роботи міського транспортного комплексу схематично зображено на рисунку 1.8 [23].



Рисунок 1.8 – Методи скорочення заторних ситуацій

Слід виділити кілька підходів щодо підвищення ефективності функціонування міського пасажирського транспорту:

1. Зменшення кількості рухомого складу на маршрутах міського пасажирського транспорту загального користування на основі використання автобусів більшої місткості [1].

2. Коригування розкладів руху транспортних засобів, що обслуговують маршрути міського пасажирського транспорту, з метою забезпечення повнішої відповідності поточної провізної спроможності парку транспортних засобів та попиту на послуги пасажирського транспорту [1, 2].

3. Зміна розташування зупинних пунктів міського пасажирського транспорту [4, 5, 31, 35].

4. Управління пропускнуною спроможністю зупинних пунктів на основі забезпечення умов формування груп транспортних засобів, що синхронно обслуговуються зупинним пунктом.

Застосування четвертого підходу, що передбачає реалізацію, головним чином, організаційних заходів щодо питань руху та роботи рухомого складу міського пасажирського транспорту. Він не передбачає серйозних змін маршрутної мережі, вулично-дорожньої мережі та структури парку ТЗ. Як наслідок, запропоновані заходи є менш капіталомісткими, що забезпечує їхню високу ефективність.

### **1.5 Висновки до розділу 1 та постановка задач дослідження**

Зростання чисельності пасажирських ТЗ, їх концентрація на міських магістралях (особливо у години пік), неузгодженість графіків руху ТЗ різних маршрутів призводять до формування заторних процесів на пунктах зупинки, що призводить до значного зниження ефективності роботи міського пасажирського транспорту, ефективності використання вулично-дорожньої мережі та транспортної інфраструктури.

При певному поєднанні факторів, що задаються параметрами вулично-дорожньої мережі, транспортного потоку, інтенсивності руху та структурою парку пасажирських ТЗ можуть бути створені умови, що забезпечують формування груп пасажирських ТЗ. Синхронне обслуговування груп пасажирських ТЗ зупинним пунктом забезпечує підвищення його пропускної спроможності.

Оскільки метою роботи є розробка теоретичних і практичних рекомендацій щодо оцінки пропускної спроможності зупинних пунктів міської пасажирської мережі та необхідності її підвищення для уникнення утворення черг міського громадського транспорту перед зупинкою та зменшення випадків блокування смуг руху або формування локальних заторів, то для її досягнення необхідно у подальших розділах МКР виконати такі завдання:

- дослідити забезпечення пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі на основі формування груп пасажирських транспортних засобів;
- виконати моделювання пропускної спроможності зупинного пункту в умовах формування груп пасажирських транспортних засобів;
- оцінити ефективність запропонованих заходів.

## 2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ДІЛЯНКИ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ ГРУП ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

### 2.1 Математичний опис руху пасажирських транспортних засобів, які обслуговують регулярні маршрути міського пасажирського транспорту

Для розробки математичного опису процесу руху пасажирських транспортних засобів, які обслуговують міські регулярні маршрути пасажирського транспорту, прийнято такі припущення:

- рух пасажирських транспортних засобів здійснюється по виділеній смузі;
- до складу парку транспортних засобів, що обслуговують міські регулярні маршрути, входять транспортні засоби різних класів;
- рух пасажирських транспортних засобів на перегонах між зупинними пунктами може здійснюватися як без зупинки, так і зупинками зумовленими факторами, що визначаються умовами організації дорожнього руху;
- пункти зупинки міських регулярних маршрутів можуть розташовуватися як до перехрестя так або після нього;
- пункти зупинки можуть бути оснащені заїзними кишенями з кількістю посадочних місць до трьох.

Розглянемо варіант руху групи пасажирських транспортних засобів, що обслуговують міські регулярні маршрути, по виділеній смузі від одного з перехресть до зупиночного пункту. Витрати часу під час реалізації цього варіанта проілюстровані з допомогою схеми, представленої рисунку 2.1. При цьому враховані витрати часу, що включають час простою транспортних засобів на перехресті, час руху від перехрестя до зупинного пункту і час простою на зупиночному пункті.

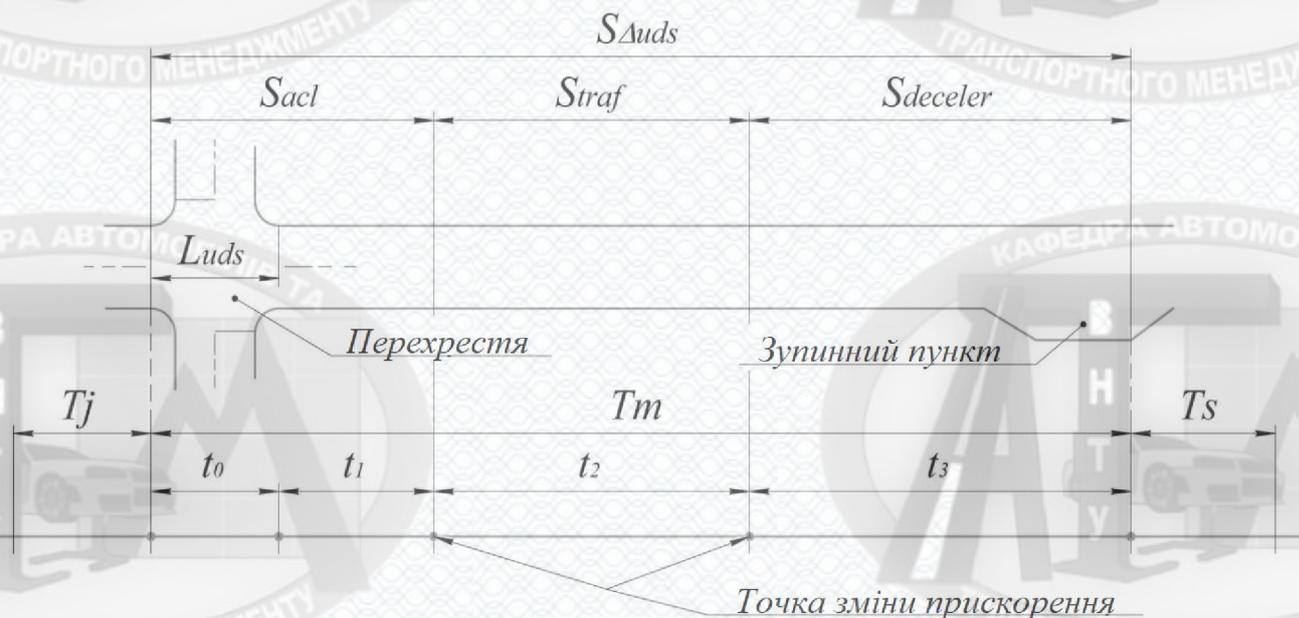


Рисунок 2.1 – Схема руху ТЗ від перехрестя до зупинного пункту

Загальний час, що витрачається на переміщення пасажирських транспортних засобів через ділянку вулично-дорожньої мережі ( $T_t$ ), що розглядається, може бути визначений за допомогою виразу:

$$T_t = T_m + T_j + T_s, \quad (2.1)$$

де  $T_t$  – загальний час переміщення пасажирського транспортного засобу по ділянці маршруту, що розглядається, с;

$T_m$  – час руху ТЗ на ділянці маршруту, що розглядається, с;

$T_j$  – час затримки пасажирського транспортного засобу на перехресті, с;

$T_s$  – час затримки пасажирського транспортного засобу на пункті зупинки, с.

Час руху транспортного засобу на ділянці маршруту, що розглядається, може бути визначений з виразу:

$$T_m = t_1 + t_2 + t_3, \quad (2.2)$$

де  $t_1$  – час розгону (прискорення) до заданої швидкості, с;

$t_2$  – час рівномірного руху, с;

$t_3$  – час гальмування до досягнення зупинного пункту, с.

Формула для розрахунку часу розгону на ділянці між перехрестям та точкою закінчення розгону ( $t_1$ ) має вигляд:

$$t_1 = \frac{0,278 \cdot V_{cons} - \sqrt{2 \cdot L_{uds} \cdot a_{uds}}}{a_{acl}}, \quad (2.3)$$

де  $V_{cons}$  – швидкість руху потоку транспортних засобів на розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі, км/год;

$L_{uds}$  – довжина відрізка шляху, розташованого в межах розглянутого вузла вулично-дорожньої мережі (перехрестя), м;

$a_{uds}$  – прискорення пасажирських транспортних засобів у межах розглянутого вузла вулично-дорожньої мережі (перехрестя), м/с<sup>2</sup>;

$a_{acl}$  – прискорення пасажирських транспортних засобів поза розглядуваного вузла вулично-дорожньої мережі досі досягнення середньої швидкості потоку, м/с<sup>2</sup>.

Формула для розрахунку часу рівномірного руху пасажирських транспортних засобів до початку зниження швидкості:

$$t_2 = 3,6 \cdot \frac{S_{traf}}{V_{const}}, \quad (2.4)$$

де  $S_{traf}$  – відрізок шляху, що долається пасажирськими транспортними засобами в умовах рівномірного руху (до початку гальмування), м;

$V_{const}$  – швидкість руху потоку транспортних засобів на розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі, км/год.

Значення  $S_{traf}$  (рисунок 2.1) можна визначити за формулою:

$$S_{traf} = S_{\Deltauds} - S_{acl} - S_{deceler}, \quad (2.5)$$

де  $S_{\Delta uds}$  – відстань перегону, тобто відстань між дальньою межею вузла вулично-дорожньої мережі (перехрестя), що розглядається, і правою межею зупинного пункту, м;

$S_{acl}$  – відрізок шляху, що долається пасажирським транспортним засобом від дальньої межі розглянутого вузла вулично-дорожньої мережі (перехрестя) до місця досягнення середньої швидкості руху потоку ТЗ (відстань розгону), м;

$S_{deceler}$  – відстань, необхідне зниження швидкості до повної зупинки на зупинному пункті, м.

Формула для розрахунку відстані, що долається при розгоні, має вигляд:

$$S_{acl} = L_{uds} + \frac{\left(\frac{V_{const}}{3,6}\right)^2 - 2 \cdot a_{acl} \cdot L_{uds}}{2 \cdot a_{acl}}, \quad (2.6)$$

Відстань, необхідна пасажирському транспортному засобу зниження швидкості до заданого значення ( $V_{Ni}$ ), визначається за формулою:

$$S_{deceler} = \frac{\left(\frac{V_{Ni}}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{V_{const}}{3,6}\right)^2}{2 \cdot J_{deceler}}, \quad (2.7)$$

де  $J_{deceler}$  – середнє уповільнення пасажирського транспортного засобу, зумовлене гальмуванням при зупинці на пункті зупинки або регульованому перетині, м/с<sup>2</sup>.

Формула для розрахунку часу уповільнення ( $t_{deceler}$ ) від середньої швидкості руху потоку транспортних засобів на ділянці вулично-дорожньої мережі до швидкості перетину  $i$ -им транспортним засобом стоп-лінії ( $V_{Ni}$ ) має вигляд:

$$t_{deceler} = \frac{V_{const} - V_{Ni}}{3,6 \cdot J_{deceler}}, \quad (2.8)$$

Умови руху пасажирських транспортних засобів по виділеній смузі в умовах ділянки вулично-дорожньої мережі, що розглядається, визначається рівністю часу уповільнення останнього в групі ТЗ і часу розгону ТЗ, що рухається попереду:

$$t_{deceler} = t_{aks}, \quad (2.9)$$

де  $t_{aks}$  – час розгону ТЗ, що йде попереду при звільненні смуги руху, с.

У свою чергу, час  $t_{aks}$  може бути знайдений за формулою:

$$t_{aks} = \sqrt{\frac{2 \cdot S_{Ni}}{a_{ack}}}, \quad (2.10)$$

де  $S_{Ni}$  – відстань від  $i$ -го транспортного засобу в групі до дальньої межі ділянки нерівномірного руху (відстань розгону), м.

Підстановкою виразів 2.8 та 2.10 у формулу 2.9 отримано таку рівність:

$$\sqrt{\frac{2 \cdot S_{Ni}}{a_{ack}}} = \frac{V_{const} - V_{Ni}}{3,6 \cdot J_{deceler}}, \quad (2.11)$$

Перетворенням отриманого виразу отримано формулу для розрахунку величини уповільнення  $J_{deceler}$ :

$$J_{deceler} = \sqrt{\frac{a_{ack} \cdot (V_{const} - V_{Ni})^2}{26 \cdot S_{Ni}}}, \quad (2.12)$$

На основі наведених вище виразів, визначено формулу для розрахунку відстані ( $S_{deceler1}$ ), що долається першим транспортним засобом групи в процесі зниження швидкості від  $V_{const}$  до  $V_{Ni}$ . При цьому не враховані такі малозначущі параметри: час реакції водія, час спрацьовування гальмівного приводу, час наростання уповільнення. Для зниження швидкості в зазначених вище межах знадобиться відрізок шляху ( $S_{deceler}$ ), довжина якого визначається за формулою:

$$S_{deceler1} = \frac{V_{const}^2 - V_{Ni}^2}{26 \cdot J_{deceler1}} = \frac{V_{const}^2 - V_{Ni}^2}{26 \cdot \sqrt{\frac{a_{ack} \cdot (V_{const} - V_{Ni})^2}{26 \cdot S_{Ni}}}} =$$

$$= \frac{V_{const}^2 - V_{Ni}^2}{132,6 \cdot (V_{const} - V_{Ni}) \sqrt{\frac{a_{ack}}{S_{Ni}}}} = \frac{V_{const} - V_{Ni}}{132,6 \cdot \sqrt{\frac{a_{ack}}{S_{Ni}}}}, \quad (2.13)$$

З урахуванням виразу 2.7 формула 2.13 набуває вигляду:

$$S_{deceler} = \frac{V_{const} - \sqrt{26 \cdot S_{Ni} \cdot a_{aks}}}{132,6 \cdot \sqrt{\frac{a_{ack}}{S_{Ni}}}}, \quad (2.14)$$

Виходячи з представлених вище виразів, отримано вираз для розрахунку часу ( $t_2$ ) рівномірного руху пасажирського транспортного засобу на ділянці вулично-дорожньої мережі, що розглядається:

$$t_2 = 3,6 \cdot \frac{S_{\Delta uds} - \frac{V_{const}^2 - 26 \cdot L_{uds} \cdot a_{uds}}{26 \cdot a_{acl}} - \frac{V_{const} - \sqrt{26 \cdot S_{Ni} \cdot a_{aks}}}{132,6 \cdot \sqrt{\frac{a_{ack}}{S_{Ni}}}}}{V_{const}}, \quad (2.15)$$

Час уповільнення  $t_3$  пасажирського транспортного засобу до досягнення зупинного пункту, можна визначити за формулою:

$$t_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot S_{Ni}}{a_{aks}}}, \quad (2.16)$$

Формула для розрахунку загального часу затримки пасажирського транспортного засобу на перехресті ( $T_j$ ) має вигляд:

$$T_j = \sqrt{\frac{2 \cdot L_{uds}}{a_{uds}}}, \quad (2.17)$$

де  $a_{uds}$  – фактичне середнє значення прискорення пасажирського транспортного засобу у межах перетину вулично-дорожньої мережі, м/с<sup>2</sup>.

Значення за результатами натурного обстеження  $a_{uds} = 0,335$  м/с<sup>2</sup>. Загальний час простою пасажирського транспортного засобу на пункті зупинки ( $T_s$ ) визначається як сума складових представлених у формулі:

$$T_s = t_{\text{доп}} + t_{\text{од}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{пво}} + t_{\text{зд}} + t_{\text{уб}} + t_{\text{конф}} + t_{\text{de}} + t_{\text{ac}}, \quad (2.18)$$

де  $t_{\text{доп}}$  – додатковий час, необхідний для надходження ТЗ на пункт зупинки, с;

$t_{\text{од}}$  – час, що витрачається на відкриття дверей транспортного засобу, с;

$t_{\text{обсл}}$  – час посадка-висадка пасажирів, с;

$t_{\text{пво}}$  – час «простою в очікуванні», с;

$t_{\text{зд}}$  – час закриття дверей, с;

$t_{\text{уб}}$  – час виїзду ТЗ з пункту зупинки (за наявності заїзної кишені), с;

$t_{\text{конф}}$  – час додаткові затримки, пов'язані з необхідністю зміни смуги руху та вливання в загальний потік руху, с;

$t_{\text{de}}$  – час уповільнення автобуса, с;

$t_{\text{ac}}$  – час прискорення автобуса, с.

Аналіз середніх значень доданків, представлених у формулі (2.18) дозволяє зробити висновок про те, що найбільш значущими є: час простою, час уповільнення і прискорення.

Розглянемо процес уповільнення у зоні в'їзду пасажирського транспортного засобу на пункт зупинки. Відстань, яка долається транспортним засобом у процесі уповільнення ( $S_1$ ), може бути визначена за формулою:

$$S_1 = (a_{de}/2) \cdot (v/a_{de})^2 = v^2/(2 \cdot a_{de}), \quad (2.19)$$

де  $a_{de}$  – уповільнення пасажирського транспортного засобу при в'їзді на пункт зупинки ( $a_{de} = 1,2$  м/с<sup>2</sup>), м/с<sup>2</sup>;

$v$  – швидкість руху пасажирського транспортного засобу перед зоною уповільнення, м/с.

Якщо плануванням зупинного пункту передбачена довжина зони в'їзду транспортних засобів, що перевищує значення  $S_1$ , відстань, що залишилася, в зоні в'їзду ( $\Delta S_{de}$ ) можна розрахувати за формулою:

$$\Delta S_{de} = S_{de} - S_1 = S_{de} - \frac{v^2}{2 \cdot a_{de}}, \quad (2.20)$$

де  $S_{de}$  – фактична довжина зони в'їзду ТЗ на зупинному пункті, м.

Таким чином, час гальмування пасажирського транспортного засоби  $t_{de}$ , перед зупинним пунктом можна розрахувати за формулою:

$$t_{de} = \left\{ \begin{array}{l} v/a_{de}, \\ v/a_{de} + \Delta S_{de}/v = S_{de}/v = S_{de}/v + v/(2 \cdot a_{de}), \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \Delta S_{de} \leq 0 \\ \Delta S_{de} > 0 \end{array} \right\}, \quad (2.21)$$

Розглянемо процес прискорення у зоні виїзду пасажирського ТЗ з пункту зупинки з моменту, коли автобус починає прискорюватися відразу після того, як він закриває двері. Відстань розгону  $S_2$  до швидкості рівномірного руху на перегоні при постійному прискоренні визначається за такою формулою:

$$S_2 = (a_{ac}/2) \cdot (v/a_{ac})^2 = v^2/(2 \cdot a_{ac}), \quad (2.22)$$

де  $S_2$  – відстань розгону, м;

$a_{ac}$  – середнє прискорення при розгоні від зупинного пункту ( $a_{ac} = 1,0$ ), м/с<sup>2</sup>.

Якщо плануванням зупинного пункту передбачена зона виїзду протяжністю, що перевищує значення відстані розгону ( $S_2$ ), відстань, що залишилася, в зоні виїзду  $\Delta S_{ac}$  можна розрахувати за формулою:

$$\Delta S_{ac} = S_{ac} - S_2 = S_{ac} - \frac{v^2}{2 \cdot a_{ac}}, \quad (2.23)$$

де  $S_{ac}$  – фактична довжина зони виїзду пасажирських транспортних засобів на зупинному пункті, м.

Таким чином, час розгону пасажирського транспортного засобу при виїзді з пункту зупинки ( $t_{ac}$ ), можна розрахувати за формулою:

$$t_{ac} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{v}{a_{ac}}, \quad \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \frac{v}{a_{ac}} + \frac{\Delta S_{ac}}{v} = \frac{S_{ac}}{v} = \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{ac}}, \quad \Delta S_{ac} > 0 \end{array} \right\}, \quad (2.24)$$

Загальний час нерівномірного руху пасажирського транспортного засобу дорівнює сумі часу розгону та гальмування на в'їзді та виїзді з пункту зупинки ( $t_{de-ac}$ ) можна розрахувати за формулою:

$$t_{de-ac} = t_{de} + t_{ac} = \left\{ \begin{array}{l} v/a_{de} + v/a_{ac}, \quad \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ S_{de}/v + v/(2 \times a_{de}) + v/a_{ac}, \quad \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ v/a_{de} + S_{ac}/v + v/(2 \times a_{ac}), \quad \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} > 0 \\ S_{de}/v + S_{ac}/v + v/(2 \times a_{de}) + v/(2 \times a_{ac}), \quad \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} > 0 \end{array} \right\}, \quad (2.25)$$

Перетворивши вираз (2.1) з урахуванням формул (2.2 і 2.18), отримаємо формулу для розрахунку часу, що витрачається на переміщення пасажирських транспортних засобів через ділянку вулично-дорожньої мережі, що розглядається:

$$T_t = t_1 + t_2 + t_3 + T_j + t_{доп} + t_{од} + t_{обсл} + t_{пво} + t_{зд} + t_{уб} + t_{конф} + t_{de} + t_{ac}, \quad (2.26)$$

Наступне перетворення формули (2.26), з урахуванням формул (2.3, 2.14, 2.16, 2.17 і 2.25) отримаємо розгорнутий вираз для розрахунку часу, що витрачається на переміщення пасажирських транспортних засобів через ділянку вулично-дорожньої мережі, що розглядається:

$$T_t = \frac{V_{\text{cons}}^2 - 26 \cdot L_1 \cdot a_{\text{uds}}}{13 \cdot a_{\text{acl}}} + 3,6 \cdot \frac{S_{\Delta \text{uds}} - \frac{V_{\text{const}}^2 - 26 \cdot L_{\text{uds}} \cdot a_{\text{uds}}}{26 \cdot a_{\text{acl}}} - \frac{V_{\text{const}} - \sqrt{26 \cdot S_{\text{Ni}} \cdot a_{\text{aks}}}}{132,6} \cdot \sqrt{\frac{a_{\text{ack}}}{S_{\text{Ni}}}}}{V_{\text{const}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{\text{Ni}}}{a_{\text{aks}}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot L_{\text{uds}}}{0,335}} + t_{\text{доп}} + t_{\text{од}} + t_{\text{обсл}} +$$

$$t_{\text{пво}} + t_{\text{зд}} + t_{\text{уб}} + t_{\text{конф}} + \left. \begin{array}{l} \frac{v}{a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}}, \quad \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \frac{S_{de}}{v} + \frac{v}{2 \times a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}}, \quad \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \frac{v}{a_{de}} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \times a_{ac}}, \quad \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} > 0 \\ \frac{S_{de}}{v} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \times a_{de}} + \frac{v}{2 \times a_{ac}}, \quad \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} > 0 \end{array} \right\}, \quad (2.27)$$

Для зручності аналізу факторів, що визначають фактичні значення складових загального часу руху пасажирських транспортних засобів, що включають: час у русі, час затримки на перехресті і часу, проведеного на зупинному пункті, розділимо вираз (2.27) на чотири частини, що визначаються величиною відстаней  $\Delta S_{de}$ ,  $\Delta S_{ac}$  в зонах входу і виходу.

Так, якщо відстань, що долається ТЗ у процесі уповільнення  $S_1$ , більша або дорівнює довжині зони в'їзду ТЗ  $S_{de}$ , і якщо відстань, що долається ТЗ у процесі прискорення  $S_2$ , більша або дорівнює довжині зони виїзду,  $\Delta S_{ac}$  ( $\Delta S_{de} \leq 0$ ,  $\Delta S_{ac} \leq 0$ ), то формула (2.27) набуде вигляду:

$$T_t = \frac{V_{\text{cons}}^2 - 26 \cdot L_1 \cdot a_{\text{uds}}}{13 \cdot a_{\text{acl}}} + 3,6 \cdot \frac{S_{\Delta \text{uds}} - \frac{V_{\text{const}}^2 - 26 \cdot L_{\text{uds}} \cdot a_{\text{uds}}}{26 \cdot a_{\text{acl}}} - \frac{V_{\text{const}} - \sqrt{26 \cdot S_{\text{Ni}} \cdot a_{\text{aks}}}}{132,6} \cdot \sqrt{\frac{a_{\text{ack}}}{S_{\text{Ni}}}}}{V_{\text{const}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{\text{Ni}}}{a_{\text{aks}}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot L_{\text{uds}}}{0,335}} +$$

$$t_{\text{доп}} + t_{\text{од}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{пво}} + t_{\text{зд}} + t_{\text{уб}} + t_{\text{конф}} + \frac{v}{a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}}, \quad (2.28)$$

Якщо відстань, що долається ТЗ у процесі уповільнення  $S_1$ , менша за довжину зони в'їзду транспортних засобів  $S_{de}$ , і якщо відстань, що долається ТЗ у процесі прискорення  $S_2$ , більша або дорівнює довжині зони виїзду  $S_{ac}$  ( $\Delta S_{de} > 0$ ,  $\Delta S_{ac} \leq 0$ ), то формула (2.27) набуде вигляду:

$$T_t = \frac{V_{\text{cons}}^2 - 26 \cdot L_1 \cdot a_{\text{uds}}}{13 \cdot a_{\text{acl}}} + 3,6 \cdot \frac{S_{\Delta \text{uds}} - \frac{V_{\text{const}}^2 - 26 \cdot L_{\text{uds}} \cdot a_{\text{uds}}}{26 \cdot a_{\text{acl}}} - \frac{V_{\text{const}} - \sqrt{26 \cdot S_{\text{Ni}} \cdot a_{\text{aks}}}}{132,6} \cdot \sqrt{\frac{a_{\text{ack}}}{S_{\text{Ni}}}}}{V_{\text{const}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{\text{Ni}}}{a_{\text{aks}}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot L_{\text{uds}}}{0,335}} +$$

$$t_{\text{доп}} + t_{\text{од}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{пво}} + t_{\text{зд}} + t_{\text{уб}} + t_{\text{конф}} + \frac{S_{de}}{v} + \frac{v}{2 \times a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}}, \quad (2.29)$$

Якщо відстань, що долається ТЗ у процесі уповільнення  $S_1$  більша або дорівнює довжині зони в'їзду транспортних засобів  $S_{de}$ , і якщо відстань, що долається ТЗ у процесі прискорення  $S_2$  менша за довжину зони виїзду  $S_{ac}$  ( $\Delta S_{de} \leq 0$ ,  $\Delta S_{ac} > 0$ ), то формула (2.27) набуде вигляду:

$$T_t = \frac{V_{cons}^2 - 26 \cdot L_1 \cdot a_{uds}}{13 \cdot a_{acl}} + 3,6 \cdot \frac{S_{\Delta uds} - \frac{V_{cons}^2 - 26 \cdot L_{uds} \cdot a_{uds}}{26 \cdot a_{acl}} - \frac{V_{cons} - \sqrt{26 \cdot S_{Ni} \cdot a_{aks}}}{132,6 \cdot \sqrt{\frac{a_{ack}}{S_{Ni}}}}}{V_{cons}} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{Ni}}{a_{aks}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot L_{uds}}{0,335}} + t_{доп} + t_{од} + t_{обсл} + t_{пво} + t_{зд} + t_{уб} + t_{конф} + \frac{v}{a_{de}} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{ac}}, \quad (2.30)$$

Якщо відстань, що долається ТЗ у процесі уповільнення  $S_1$  менша за довжину зони в'їзду транспортних засобів  $S_{de}$ , і якщо відстань долається ТЗ у процесі прискорення  $S_2$  менша за довжину зони виїзду  $S_{ac}$  ( $\Delta S_{de} > 0$ ,  $\Delta S_{ac} > 0$ ), то формула (2.27) набуде вигляду:

$$T_t = \frac{V_{cons}^2 - 26 \cdot L_1 \cdot a_{uds}}{13 \cdot a_{acl}} + 3,6 \cdot \frac{S_{\Delta uds} - \frac{V_{cons}^2 - 26 \cdot L_{uds} \cdot a_{uds}}{26 \cdot a_{acl}} - \frac{V_{cons} - \sqrt{26 \cdot S_{Ni} \cdot a_{aks}}}{132,6 \cdot \sqrt{\frac{a_{ack}}{S_{Ni}}}}}{V_{cons}} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{Ni}}{a_{aks}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot L_{uds}}{0,335}} + t_{доп} + t_{од} + t_{обсл} + t_{пво} + t_{зд} + t_{уб} + t_{конф} + \frac{S_{de}}{v} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{de}} + \frac{v}{2 \cdot a_{ac}}, \quad (2.31)$$

Пропускна спроможність зупинного пункту може бути розрахована відповідно до методики, викладеної в «Посібнику з визначення пропускної спроможності автомагістралей» (Highway Capacity Manual) [34].

Пропускную спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, що включає регульований перетин і розташований за ним зупинковий пункт, відповідно до [34] можна описати наступним виразом:

$$Q_N = \frac{3600 \cdot \left(\frac{g}{c}\right) \cdot N_b}{t_c + t_d \cdot \left(\frac{g}{c}\right) + Z_\alpha \cdot C_v \cdot t_d}, \quad (2.32)$$

де  $Q_N$  – пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, од/год;

$N_b$  – ефективне число місць на пункті зупинки, од.;

$g$  – тривалість фази роздільного сигналу світлофора, с;

$c$  – повна тривалість циклу регулювання, с;

$t_c$  – час звільнення зупинного пункту, з;

$t_d$  – час посадки та висадки пасажирів на зупиночному пункті, с;

$Z_\alpha$  – коефіцієнт ймовірності відмови у заявці на обслуговування;

$c_v$  – коефіцієнт варіації часу обслуговування пасажирів на пункті зупинки.

У тому випадку, коли на перегоні між пунктами зупинки відсутній світлофор, то відношення  $(g/c) = 1,0$ . За даними, отриманими St Jacques і Levinson, включеними в Highway Capacity Manual [34], при часі обслуговування пасажирів більше 20 секунд, коефіцієнт варіації часу обслуговування пасажирів на пункті зупинки ( $c_v$ ) знаходиться в межах від 0,4 до 0,6.

У Highway Capacity Manual представлений довідковий матеріал для визначення ефективної кількості місць на пункті зупинки  $N_b$  для лінійних пунктів різного типу: без об'єктів обгону («on-line») і з об'єктами обгону («off-line»). Вони отримані з емпіричних спостережень на автобусних вокзалах Нью-Йорка та Нью-Джерсі.

У Highway Capacity Manual [34] наведена інформація про час посадки та висадки пасажирів  $t_d$ , який може мати різні значення в залежності від кількості дверей та організації процесу пасажирообміну:

- тільки посадка, двері з одностороннім рухом;
- тільки вихід, двері з одностороннім рухом;
- двосторонній потік через двері.

Для однієї двері з двостороннім рухом, час посадки та висадки пасажирів  $t_d$  можна розрахувати за формулою:

$$t_d = \beta_a \cdot P_a + \beta_b \cdot P_b, \quad (2.33)$$

де  $\beta_a$  – час висадки одного пасажирів;

$\beta_b$  – час посадки одного пасажирів, с;

$P_a$  – кількість пасажирів, що висаджуються, з одного ТЗ в 15 хв. інтервалі в піковий час, чол.;

$P_b$  – кількість пасажирів, що входять в один ТЗ у 15 хв. інтервалі в час пік, чол.

Для двох односторонніх дверей час посадки та висадки пасажирів  $t_d$  можна прийняти виходячи з умови:

$$t_d = \max \{(\beta_a \cdot P_a); (\beta_b \cdot P_b)\}. \quad (2.34)$$

Час звільнення зупинного пункту – це середній мінімальний час між виїздом одного пасажирського транспортного засобу із зупинного майданчика та заходом наступного пасажирського транспортного засобу. Значення цієї величини можна розрахувати за такою формулою:

$$t_c = t_{de-ac} + t_d + 1/v, \quad (2.35)$$

де  $t_{de-ac}$  – час, який витрачається пасажирським транспортним засобом на уповільнення та прискорення на зупинному пункті, с;

$t_d$  – час, який витрачається пасажирським ТЗ на посадку та висадку пасажирів на зупинному пункті, с;

$v$  – частота руху пасажирських ТЗ на розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі, с.

## 2.2 Теоретичне обґрунтування процесу формування груп пасажирських транспортних засобів, які обслуговують регулярні маршрути міського пасажирського транспорту

Нами було висунуто гіпотезу про те, що зниження заторних ситуацій, що впливають на пропускну спроможність зупинкових пунктів, можна вирішити шляхом формування пасажирських транспортних засобів в окремі групи.

Продуктивність роботи міського пасажирського транспорту загального користування на ділянці вулично-дорожньої мережі, що розглядається, багато в чому визначається пропускну здатністю виділеної смуги ( $Q_r$ ), регульованих перехресть ( $Q_j$ ) і зупинних пунктів ( $Q_s$ ).

Розглянуті складові елементи пасажирської транспортної інфраструктури послідовно взаємодіють із пасажирськими транспортними засобами, отже, загальна пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі ( $Q_N$ ) визначається елементом, що має мінімальну пропускну спроможність. Дане твердження описується нерівністю:

$$\min \{Q_r; Q_j; Q_s\} \geq Q_N. \quad (2.36)$$

Як правило, пропускна спроможність виділеної смуги значно вища за пропускну спроможність зупинних пунктів і регульованих перетинів. Виходячи з цього параметри, що визначають пропускну спроможність виділеної смуги, виключені з подальшого дослідження.

Слід зазначити, що проїзд ТЗ через зупинні пункти та регульовані перехрестя здійснюється із зупинкою (циклічно), а рух у межах виділеної смуги є безперервним.

Середній час затримки ТЗ на регульованому перехресті визначається сумою, що включає: затримку, пов'язану з уповільненням; затримку, обумовлену простоем; затримки в період розгону до швидкості транспортного потоку. При цьому затримку доцільно визначити, як різниця між часом проходження ТЗ перехрестя із зупинкою та часом проходження ТЗ того ж перехрестя без зупинки. Зупинка ТЗ на регульованому перехресті розглядається як випадкова подія, що реалізується з ймовірністю, що визначається співвідношенням тривалостей фаз, що дозволяють і забороняють сигнали засобів регулювання дорожнього руху. Загальна формула для розрахунку середнього часу затримки транспортного засобу на регульованому перехресті, розроблена з урахуванням вищевикладених положень, має вигляд:

$$t_j = \left( \frac{v}{7,2 \cdot |J_{deceler}|} + c - g + \frac{v}{7,2 \cdot a_{acl}} \right) \cdot \frac{(c-g)}{c}, \quad (2.37)$$

де  $v$  – швидкість руху пасажирського ТЗ перед зоною уповільнення, км/год.

Затримка ТЗ на зупинному пункті обумовлена втратами часу, пов'язаними із уповільненням у зоні під'їзду до пункту зупинки; тривалістю простою у процесі посадки та висадки пасажирів; втратами часу в процесі розгону при виїзді з пункту зупинки до середньої швидкості транспортного потоку. Також, як і при затримці на регульованому перехресті, загальний час затримки на зупинному пункті розглядається як різниця між витратами часу на подолання ділянки вулично-дорожньої мережі від початку в'їзду на зупинний пункт (початок уповільнення) до закінчення виїзду з зупинного пункту (кінець розгону) і витратами часу аналогічного ТЗ, що долає дану ділянку вулично-дорожньої мережі зі швидкістю, що дорівнює середній швидкості транспортного потоку. Формула для розрахунку величини затримки транспортного засобу на пункті зупинки має вигляд:

$$t_s = t_{de-ac} - \frac{(S_{de} + S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, \quad (2.38)$$

де  $t_{de-ac}$  – загальний час нерівномірного руху пасажирського транспортного засобу на в'їзді та виїзді з пункту зупинки (формула 2.25), с;

$S_{de}$  – довжина зони в'їзду ТЗ на пункт зупинки, м;

$S_{ac}$  – довжина зони виїзду ТЗ від пункту зупинки, м;

$v$  – швидкість руху пасажирського ТЗ перед зоною уповільнення, км/год.

З урахуванням підстановки виразу 2.25 у формулу 2.38 отримаємо систему підсумкових виразів для розрахунку часу затримки транспортних засобів на пункті зупинки без урахування витрат часу на посадку і висадку пасажирів:

$$t_s = \left\{ \begin{array}{l} \frac{v}{a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}} - \frac{(S_{de}+S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, \\ \frac{S_{de}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}} - \frac{(S_{de}+S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, \\ \frac{v}{a_{de}} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{ac}} - \frac{(S_{de}+S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, \\ \frac{S_{de}}{v} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{de}} + \frac{v}{2 \cdot a_{ac}} - \frac{(S_{de}+S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} > 0 \\ \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} > 0 \end{array} \right\}, \quad (2.39)$$

Надходження пасажирських ТЗ на ділянку вулично-дорожньої мережі, що розглядається, здійснюється з деякою середньою частотою, що визначається інтервалом руху ТЗ у заданий період часу на міських регулярних маршрутах, що проходять через дану ділянку. Формула для розрахунку середньої частоти руху ТЗ має вигляд:

$$\nu_{TC} = \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{I_i} \right), \quad (2.41)$$

де  $\nu_{TC}$  – частота надходження ТЗ на розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі, од/с;

$m$  – кількість маршрутів, що проходять через розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі, од.;

$I_i$  – інтервал руху пасажирських транспортних засобів на  $i$ -му маршруті, що проходить через розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі у заданий час, с.

Відомо, що під час руху пасажирських ТЗ на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі відбувається мимовільне формування груп. Цей процес визначається такими факторами:

- тривалістю затримки пасажирських ТЗ на регульованому перетині;
- тривалістю затримки на зупинному пункті;
- частотою руху пасажирських ТЗ на розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі.

При цьому поєднання зазначених факторів визначає наступні варіанти розвитку дорожньої ситуації:

Перший варіант – групи пасажирських ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі, що розглядається, не формуються;

Другий варіант – забезпечується формування груп ТЗ певної чисельності;

Третій варіант – формується дорожній затор на ділянці вулично-дорожньої мережі, що розглядається.

Перший варіант розвитку дорожньої ситуації визначається поєднанням умов, коли пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі вища за частоту надходження пасажирських ТЗ, а час затримки на регульованих перетинах або зупинних пунктах нижче за інтервал надходження ТЗ. Ця умова описується системою нерівностей:

$$\begin{cases} Q_N \geq v_{TC} \\ t_j \leq 1/v_{TC}, \\ t_s \leq 1/v_{TC} \end{cases} \quad (2.42)$$

Другий варіант – формування груп ТЗ певної (кінцевої) чисельності, забезпечується, коли пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, час затримки на регульованих перетинах і пропускна спроможність зупинного пункту вище за інтервал надходження пасажирських ТЗ на розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі. Система нерівностей, що характеризує цю умову, має вигляд:

$$\begin{cases} Q_N \geq v_{TC} \\ t_j > 1/v_{TC}, \\ Q_s > v_{TC} \end{cases} \quad (2.43)$$

Реалізація третього варіанту – формування дорожнього затору відбувається за умови, що описується нерівністю:

$$Q_N < v_{TC}. \quad (2.44)$$

Очевидно, що при організації роботи пасажирського транспорту реалізація третього варіанта неприпустима. Отже, детальному розгляду підлягає другий варіант поєднання значень затримок на об'єктах транспортної інфраструктури, пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі та частоти надходження ТЗ. Виходячи із співвідношення тривалості затримок і частоти надходження ТЗ, можна визначити чисельність ТЗ у групах, що формуються на об'єктах дорожньої інфраструктури. Розрахунок чисельності ТЗ у групах, що формуються, може бути проведений за формулою:

$$n_{\text{груп}} = t_j \cdot \nu_{TC}, \quad (2.45)$$

Максимальна пропускна спроможність зупинного пункту забезпечується при кількості посадкових майданчиків більшою або рівною кількості ТЗ у сформованих групах.

Як коментар, що пояснює логіку побудови нерівностей 2.42, 2.43 та 2.44 слід зазначити, що затримки пасажирських ТЗ на регульованих перетинах та зупинних пунктах характеризуються особливостями, що визначають формування та розформування груп ТЗ. Цей процес проілюстровано за допомогою схем, представлених на рисунку 2.2.

Формування груп ТЗ відбувається на регульованих перетинах, основна умова формування – інтервал руху пасажирських ТЗ менший за тривалість затримки на регульованому перетині ( $t_j > 1/\nu_{TC}$ ). Група формується під час затримки, коли перший ТЗ групи зупиняється на заборонний сигнал світлофора, а ТЗ, що йдуть за ним, вибудовуються один за одним, формуючи групу. При включенні дозвільного сигналу світлофора ТЗ групи з деяким наростаючим розривом (формуючи дистанцію) рушають. Цілісність групи зберігається при подальшому русі ТЗ на перегоні між регульованим перетином та зупинним пунктом.



а) формування та подальше збереження груп транспортних засобів



б) розформування груп ТЗ при виїзді від пункту зупинки з недостатньою пропускною здатністю

Рисунок 2.2 – Схеми формування груп пасажирських ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі

Надалі, цілісність групи забезпечується, якщо пропускна спроможність чергового і наступних пунктів зупинки перевищує частоту надходження на них ТЗ. Найбільш ефективним способом забезпечення необхідної пропускної спроможності зупинних пунктів є організація на них необхідної кількості посадкових майданчиків чисельністю не менше кількості ТЗ у сформованих групах (див. рис. 2.2 а).

У тому випадку, якщо на ділянці вулично-дорожньої мережі, що розглядається, розташований зупинний пункт з недостатньою пропускною спроможністю (недостатня кількість посадкових майданчиків), ТЗ, що не помістилися на зупинному пункті, зупиняються в очікуванні і здійснюють посадку і висадку пасажирів із затримкою, лише після того, як ТЗ, що йдуть попереду, покинуть посадкові майданчики. За час посадки, висадки пасажирів і затримки при

виїзді з зупинного пункту ТЗ, що йдуть позаду, ТЗ, які їдуть попереду встигають від'їхати від посадкового майданчика на певну відстань. Таким чином, при недостатній пропускній спроможності зупиночного пункту, відбувається розформування груп ТЗ, що раніше утворилися (див. рисунок 2.2 б).

Очевидно, що в період дозвільного сигналу світлофорного регулювання на цьому напрямі, в зоні регульованого перетину, не відбувається формування груп пасажирських ТЗ, оскільки в цей період забезпечується їх безперешкодний рух. Отже, в даний період відбувається довільне надходження ТЗ на ділянку вулично-дорожньої мережі, що розглядається, з частотою рівною середній частоті їх руху. У тому випадку, якщо тривалість дозвільного сигналу світлофора більш ніж удвічі перевищує тривалість повного циклу регулювання, і перевищує частоту надходження ТЗ на ділянку вулично-дорожньої мережі, що розглядається, чисельність не згрупованих ТЗ перевищить чисельність ТЗ у сформованих групах. Така ситуація призведе до виникнення додаткового навантаження на пункт зупинки, отже, для запобігання заторам обумовленим даним навантаженням буде потрібна організація додаткових посадкових майданчиків. Виходячи з зазначеної проблеми, окремим завданням, що вирішується за результатами моделювання, є визначення співвідношення фаз регулювання, при якому не створюється додаткове навантаження, що призводить до надлишкового навантаження на пункт зупинки.

Для визначення пропускної спроможності елементів дорожньої інфраструктури, що розглядаються в роботі: регульованого перехрестя ( $Q_j$ ), зупинного пункту ( $Q_s$ ) і сукупної пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі ( $Q_N$ ), що розглядається, можуть бути використані відомі вирази, наведені, наприклад, у джерелах [22, 31-36].

Пропускна спроможність регульованого перетину може бути визначена за формулою [22, 34, 36]:

$$Q_j = \frac{x_p \cdot (g-2)/c \cdot s_b}{f_b}, \quad (2.46)$$

де  $Q_j$  - пропускна спроможність смуги на регульованому перетині, од./год;

$x_p$  – максимально-допустимий ступінь насичення регульованого перетину;  
 $g$  – тривалість дозвільного сигналу світлофора, с;  
 $(g-2)$  – ефективна тривалість дозвільного сигналу світлофора (прийнятий час затримки початку руху 2 с), с;  
 $c$  – повна тривалість циклу регулювання, с;  
 $s_b$  – потік насичення виділеної лінії руху транспортних засобів, од./год;  
 $f_b$  – коефіцієнт еквівалентності для пасажирських транспортних засобів, легк. авт./автобус.

Прийняте значення максимально допустимого ступеня насичення регульованого перетину становить  $x_p = 0,9$  [34]. Значення ідеального потоку насичення виділеної смуги руху при русі прямолінійному напрямку становить  $s_b = 1900$  авт./год. Встановлені значення коефіцієнта еквівалентності ( $f_b$ ) для міських пасажирських транспортних засобів наведено у таблиці 2.1 [17].

Таблиця 2.1 - Коефіцієнт еквівалентності для автобусів

Клас (категорія) пасажирських транспортних засобів	Коефіцієнт еквівалентності ( $f_b$ ) для пасажирських транспортних засобів, легк. авт./автобус
Автобус малого класу	1,5
Автобус середнього класу	3,0
Тролейбус	4,5

Пропускна спроможність зупинного пункту може бути визначена з виразу [34]:

$$Q_s = \frac{3600 \cdot n \cdot x_p}{t_s + t_d}, \quad (2.47)$$

де  $Q_s$  – пропускна спроможність зупинного пункту, од/год;

$n$  – кількість посадочних майданчиків на пункті зупинки, од.;

$t_s$  – час затримки ТЗ на пункті зупинки без урахування витрат часу на посадку і висадку пасажирів, с;

$t_d$  – витрати часу на посадку та висадку пасажирів одного ТЗ, с.

Загальний час посадки та висадки пасажирів ( $t_d$ ) на пункті зупинки залежить від кількості дверей та організації процесу пасажирообміну. Розрахунок значення цієї величини проводиться у разі за формулами 2.33 і 2.34.

З урахуванням підстановки виразів 2.33 та 2.34 у формулу 2.47, підсумкові вирази для розрахунку пропускної спроможності зупинного пункту мають вигляд:

– при посадці з двостороннім рухом:

$$Q_s = \frac{3600 \cdot n \cdot x_p}{t_s + (\beta_a \cdot P_a + \beta_b \cdot P_b) / m}, \quad (2.48)$$

де  $\beta_a$  – час висадки одного пасажирів, с;

$\beta_b$  – час посадки одного пасажирів, с;

$P_a$  – кількість пасажирів, що висаджуються, з одного ТЗ в 15-хв. інтервалі в піковий час, чол.;

$P_b$  – кількість пасажирів, що входять в один ТЗ у 15-хв. інтервалі в піковий час, чол.;

$m$  – кількість дверей ТЗ, які використовуються для посадки та висадки пасажирів, од.

– при посадці через двоє односторонніх дверей:

$$Q_s = \frac{3600 \cdot n \cdot x_p}{t_s + \max \{(\beta_a \cdot P_a); (\beta_b \cdot P_b)\}}, \quad (2.49)$$

Розрахункова пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, що включає регульований перетин і розташований за ним зупинний пункт може бути визначена з виразу:

$$Q_N = \min \{Q_j; Q_s\}. \quad (2.48)$$

Аналіз математичних виразів, представлених у цьому розділі, дозволив виявити основні регульовані чинники, які впливають на процеси формування груп пасажирських ТЗ. До таких чинників можемо віднести:

- тривалість дозвільного сигналу світлофора ( $g$ );
- повна тривалість циклу світлофорного регулювання ( $c$ );
- довжина зони в'їзду ТЗ на пункт зупинки ( $S_{de}$ );
- довжина зони виїзду ТЗ із зупинного пункту ( $S_{ac}$ );
- організація пасажирообміну на зупинному пункті (через одні двері з двостороннім рухом або через двоє дверей з одностороннім рухом);

За результатами моделювання визначається кількість посадкових майданчиків, які забезпечують синхронне обслуговування ТЗ кожної сформованої групи. Виходячи з цього, параметр «кількість посадкових майданчиків» виключено з числа регульованих факторів, що впливають на процеси формування груп пасажирських транспортних засобів.

Таким чином, зроблено математичний опис процесу руху пасажирських ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі, що має виділену смугу руху і включає в себе регульовані перетини та зупинні пункти.

Розроблено математичну модель пропускну спроможності зупинного пункту, розташованого на ділянці вулично-дорожньої мережі, що включає до свого складу виділену смугу для руху пасажирських ТЗ та регульований перетин. Визначено фактори, що надають вирішальний вплив на параметри формування груп пасажирських ТЗ та на пропуску спроможність зупинного пункту.

### 2.3 Висновки до розділу 2

Виходячи з математичного опису процесу руху пасажирських ТЗ, що обслуговують регулярні маршрути міського пасажирського транспорту, і теоретичного опису процесу формування груп пасажирських ТЗ на розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі, розроблена математична модель пропускну спроможності зупинного пункту, що описує процес руху пасажирських ТЗ на

ділянці вулично-дорожньої мережі, зупиночні пункти, що містить в собі виділену смугу для руху та регульовані перетини і враховує процеси, що визначають мимовільне формування груп пасажирських транспортних засобів.

Визначено фактори, що надають вирішальний вплив на параметри формування груп пасажирських ТЗ та на пропускну спроможність зупинного пункту міського пасажирського транспорту загального користування.

## 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗУПИННОГО ПУНКТУ В УМОВАХ ФОРМУВАННЯ ГРУП ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

### 3.1 Опис алгоритму моделювання

Алгоритм моделювання пропускної спроможності зупинного пункту розроблено на основі теоретичних положень, представлених у другому розділі МКР. Результатом моделювання є виявлення поєднань параметрів дорожньої інфраструктури та організації руху, що забезпечують відповідність пропускної спроможності розглянутого зупинного пункту інтенсивності руху пасажирських транспортних засобів.

Як вихідні дані для моделювання використано комплекс параметрів, які, виходячи з характеру розв'язуваних завдань, доцільно розділити на три групи.

Перша група: параметри, що мають однакові значення для більшості міських пасажирських транспортних систем. Перелік даних параметрів та їх значення, встановлені на основі аналізу інформації, поданої у літературних джерелах [22, 31-36] та за результатами натурних спостережень, представлені у таблиці 3.1.

Друга група: нерегульовані параметри, що визначаються умовами організації роботи ТЗ на лінії, особливостями маршрутної мережі та характером транспортних кореспонденцій населення.

Перелік параметрів цієї групи, а також можливий діапазон зміни їх значень наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Параметри моделювання пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі, що мають постійні значення

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Прийняте значення
Середня швидкість руху пасажирських ТЗ на перегонах між зупинними пунктами перед зоною уповільнення	$v$ , км/год	42,0
Середнє уповільнення пасажирських ТЗ перед перехрестям (зупинним пунктом)	$a_{de}$ , м/с <sup>2</sup>	1,2
Середнє прискорення пасажирських ТЗ після перехрестя (зупинного пункту)	$a_{ac}$ , м/с <sup>2</sup>	1,0
Потік насичення смуги руху ТЗ	$S_b$ , од./год	1800
Максимально-допустимий ступінь насичення регульованого перетину	$x_p$	0,9
Час висадки одного пасажира	$\beta_a$ , с	2
Час посадки одного пасажира	$\beta_b$ , с	3

Таблиця 3.2 – Нерегульовані параметри, що визначаються умовами організації роботи транспортних засобів на лінії, особливостями маршрутної мережі та характером транспортних кореспонденцій населення

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Прийняте значення
Середня частота надходження ТЗ на розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі	$\nu_{TC}$ , 1/с	0,01-0,06
Середня кількість пасажирів, що висаджуються з одного ТЗ у 15-хв. інтервалі в піковий час	$P_a$ , чол	5-20
Середня кількість пасажирів, що входять до одного ТЗ 15-хв. інтервалі в піковий час	$P_b$ , чол	5-20
Коефіцієнт еквівалентності (визначається класом та категорією використовуваних ТЗ)	$f_b$ , легк.авт/автб	Табл. 2.1

Третя група: регульовані параметри, що надають безпосередній вплив на пропускну спроможність розглянутого зупинного пункту. До даних параметрів віднесені:

- тривалість фази сигналу світлофора ( $g, c$ );
- повна тривалість циклу регулювання світлофорного об'єкта ( $c, c$ );
- довжина зони в'їзду ТЗ на зупинний пункт ( $S_{de}, m$ );
- довжина зони виїзду ТЗ із зупинного пункту ( $S_{ac}, m$ );
- організація пасажирообміну на зупинному пункті (через одні двері з двостороннім рухом або через двоє дверей з одностороннім рухом);
- кількість посадкових майданчиків на пункті зупинки, ( $n, од.$ ).

Схема алгоритму, що відображає послідовність виконання аналітичних, обчислювальних та логічних операцій, представлена на рисунку 3.1.

У процесі реалізації алгоритму, після введення вихідних даних, що включають дані трьох вищевказаних груп, послідовно виконується розрахунок числових значень наступних показників:

- часу затримки транспортного засобу на регульованому перетині (вираз 2.17);
- відстані, що долається ТЗ у процесі уповільнення (вираз 2.19);
- відстані, що долається ТЗ у процесі прискорення (вираз 2.22);

Визначається відповідність відстані, яка долається ТЗ у процесі уповільнення довжини зони гальмування перед зупинним пунктом, а також відповідність відстані, що долається ТЗ у процесі прискорення довжині зони розгону після зупинного пункту. З співвідношення порівнюваних величин, проводиться розрахунок часу уповільнення ТЗ перед зупинним пунктом і часу розгону після зупинного пункту (системи виразів 2.21, 2.24 і 2.25).

Виходячи із середньої величини пасажирообміну на розглянутому пункті зупинки, проводиться розрахунок витрат часу на посадку і висадку пасажирів одним ТЗ (вирази 2.33 і 2.34).

Загальний час затримки ТЗ на пункті зупинки визначається як сума витрат часу на уповільнення, розгін, посадку і висадку пасажирів.

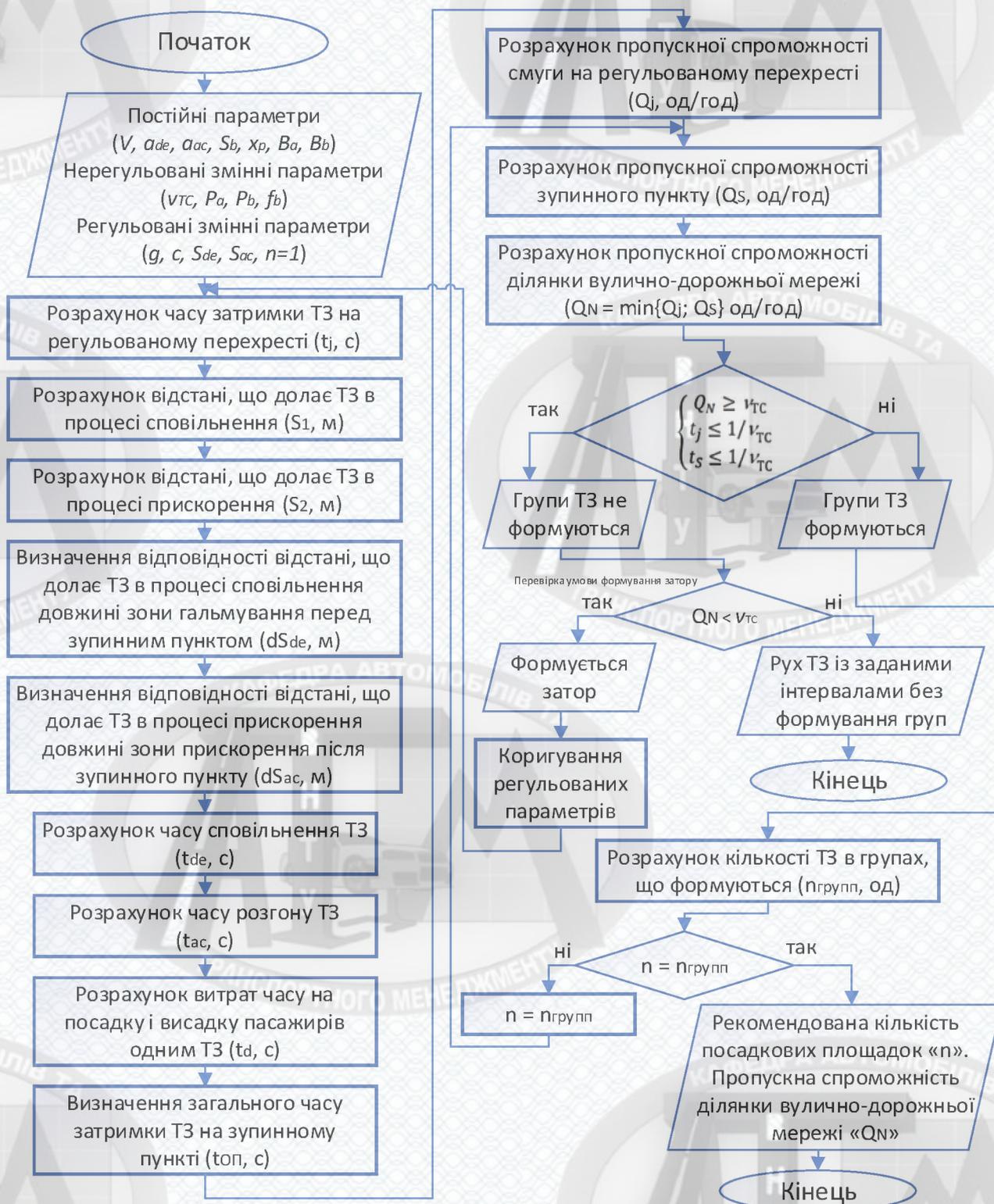


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму моделювання пропускної спроможності пункту зупинки

Виходячи із середньої величини пасажирообміну на розглянутому пункті зупинки, проводиться розрахунок витрат часу на посадку і висадку пасажирів одним ТЗ (вирази 2.33 і 2.34).

Загальний час затримки ТЗ на пункті зупинки визначається як сума витрат часу на сповільнення, розгін, посадку і висадку пасажирів.

На наступному етапі моделювання послідовно визначаються:

– пропускна спроможність смуги на регульованому перетині, розташованому перед зупинним пунктом, виходячи із заданої тривалості фаз світлофорного регулювання (вираз 2.46);

– пропускна спроможність зупинного пункту, виходячи з прийнятої кількості зупинних майданчиків (вираз 2.48 або 2.49 залежно від способу організації пасажирообігу).

Пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі визначається як мінімум двох вищеназваних величин (2.48).

Далі, виходячи з виконання співвідношень величин, що визначаються системою нерівностей (2.43), виконується перевірка умов формування груп транспортних засобів при заданій інтенсивності їх руху та прийнятій тривалості фаз світлофорного регулювання.

У разі, якщо одна з нерівностей системи (2.43) не виконується, робиться висновок про те, що групи транспортних засобів не формуються і проводиться перевірка умови формування дорожнього затору (нерівність 2.44).

При виконанні умови, що відповідає формуванню затора, проводиться коригування параметрів об'єкта, що є його причиною (зупинний пункт або світлофорний об'єкт) та виконується повторний розрахунок пропускної спроможності. Коригованими параметрами є тривалість фаз світлофорного регулювання та кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті.

При невиконанні умови, що відповідає формуванню затору, робиться висновок про задовільну пропускну спроможність зупинного пункту, що реалізується без формування груп ТЗ.

За виконання умов, що описуються системою нерівностей (2.43), робиться висновок про формування груп ТЗ на регульованому перетині. Проводиться розрахунок кількості ТЗ у групах, що формуються, виконується перевірка умови відповідності отриманого значення кількості посадкових майданчиків на зупинному пункті. У разі невідповідності проводиться коригування кількості посадкових майданчиків та виконується повторний розрахунок.

У заключній частині розрахунку, в якості результату, виводиться значення рекомендованої кількості посадкових майданчиків на зупинному пункті і розрахункове значення пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі, що включає регульований перетин і зупинний пункт міського безрейкового пасажирського транспорту.

### **3.2 Ранжування факторів, що впливають на пропускну спроможність зупинних пунктів, що визначається з урахуванням формування груп ТЗ**

Ранжування факторів, що впливають на пропускну спроможність зупинних пунктів, що визначається з урахуванням формування груп ТЗ, виконано відповідно до описаної вище методики, на прикладі вибірки маршрутів системи міського пасажирського транспорту міста Вінниця. Для отримання залежностей, що відображають вплив досліджуваних факторів на пропускну спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, визначено середні значення параметрів, що не регулюються (таблиця 3.2). Як досліджувану ділянку вулично-дорожньої мережі обрано фрагмент вулиці Келецька від перетину з вулицею Данила Галицького до перетину з вулицею Тараса Шевченка. Ділянка містить регульоване перехрестя та зупинний пункт (див. рис. 3.2), розташований на відстані 270 метрів від регульованого перехрестя. Вибраною ділянкою проходить 5 автобусних маршрутів міського пасажирського транспорту та 9 тролейбусних. Дані, необхідні для моделювання, отримані за результатами натурних спостережень, виконаних у години пікових пасажиропотоків у робочі дні у період з 15 вересня до 15 жовтня 2025 року. Отримані результати наведено у таблиці 3.3.



Рисунок 3.2 – Зупинка міського пасажирського транспорту по вул. Келецька

Таблиця 3.3 – Результати дослідження нерегульованих параметрів, що визначаються умовами організації роботи ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі міста Вінниця

Найменування параметра	Значення
Кількість автобусних маршрутів, од	5
Кількість тролейбусних маршрутів, од	9
Середньозважена кількість пасажирів, які висаджуються з одного ТЗ в 15-хв. інтервал у піковий час, чол.	7
Кількість пасажирів, що входять в один ТЗ у 15-хв. інтервалі в піковий час	8
Середньозважений коефіцієнт еквівалентності (визначається класом та категорією використовуваних транспортних засобів)	2,8
Швидкість руху ТЗ перед зоною сповільнення, км/год	42
Організація посадки та висадки пасажирів	через 2 дверей
Організація посадки та висадки пасажирів	через 3 дверей

Ранжування регульованих параметрів, що впливають на пропускну спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, виконано відповідно до методики, представленої у третьому розділі МКР. Дані, необхідні виконання ранжування, представлені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати ранжування регульованих параметрів, що впливають на пропускну спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі

Найменування параметра	Діапазон зміни параметру		Середнє значення параметра	Діапазон зміни пропускну спроможності зупинного пункту, од./год.		Ранг
	Min	Max		Min	Max	
Тривалість дозвільного сигналу світлофора, с	15	60	37,5	78	203	1
Повна тривалість циклу регулювання світлофору, с	60	120	90	159	203	2
Довжина зони в'їзду ТЗ на пункт зупинки, м	10	20	15	201	206	3
Довжина зони виїзду ТЗ з зупинного пункту, м	10	20	15	201	206	4

Таким чином, виявлено найбільш значущі параметри, що найбільше впливають на пропускну спроможність зупинних пунктів, визначену з урахуванням формування груп пасажирських ТЗ та створення умов, що забезпечують синхронне обслуговування ТЗ у сформованих групах. Такими параметрами є: тривалість дозвільного сигналу світлофора і повна тривалість циклу регулювання світлофорного об'єкта. Додатково врахованим параметром є організація пасажирообміну на пункті зупинки. Облік цього параметра зумовлює необхідність виконання моделювання для двох варіантів організації пасажирообміну.

Посадка пасажирів через 2 дверей – 1 варіант, посадка пасажирів через 3 дверей – 2 варіант (обидва варіанти для автобусів великого та середнього класів). Варіант – одні двері застосовуватися не буде, оскільки він прийнятний для автобусів малого класу (застосовується на 1 маршруті з 5).

Такі параметри як: довжина зони в'їзду ТЗ на пункт зупинки і довжина зони виїзду ТЗ з пункту зупинки не надають значного впливу на пропускну спроможність пункту зупинки. Виходячи з цього, дані параметри прийняті на рівні середніх значень і виключені з числа параметрів, що формують область дослідження.

### **3.3 Результати моделювання пропускну спроможності пунктів зупинки в умовах формування груп пасажирських ТЗ**

Для визначення параметрів світлофорного регулювання, що забезпечують задану пропускну спроможність зупинних пунктів в умовах формування груп пасажирських ТЗ та створення умов синхронного обслуговування ТЗ кожної групи, виконано моделювання. Мета моделювання – визначення характеру впливу параметрів світлофорного регулювання на пропускну спроможність зупинного пункту за умови оснащення даного пункту посадковими майданчиками у кількості, що забезпечує синхронне обслуговування сформованих груп.

На основі аналізу діючих схем організації руху на регульованих перетинах міських територій встановлено, що тривалість циклу світлофорного регулювання перебуває в інтервалі від 60 до 120 секунд; тривалість дозвільного сигналу світлофорного регулювання багато в чому залежить від тривалості повного циклу і знаходиться в діапазоні від 15 до 45 секунд. Для виявлення досліджуваних залежностей прийнята дискретність зміни тривалості циклу регулювання становить 20 секунд, дискретність зміни тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання – 15 секунд.

За результатами моделювання виконано розрахунок наступних показників:

– пропускну спроможність зупинного пункту;

- кількість посадочних майданчиків, що дозволяє забезпечити обслуговування всіх ТЗ, що прибувають;
- виконання умови формування груп ТЗ;
- кількість ТЗ у групах, що формуються (за умови їх формування).

Моделювання виконано варіанту організації пасажирообміну на пункті зупинки – посадка через 2-3 дверей. Результати моделювання наведено у таб. 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати моделювання максимальної пропускної спроможності зупинного пункту залежно від параметрів світлофорного регулювання та кількості посадкових майданчиків

Повна тривалість циклу, с	Тривалість дозвільного сигналу, с	Пропускна спроможність зупинного пункту, од/год	Кількість посадочних майданчиків на пункті зупинки, од.	Формування груп ТЗ / Кількість ТЗ у групі
60	15	117	2	Так/2
	30	244	3	Так/2
	45	387	5	Ні/-
80	15	88	2	Так/2
	30	189	3	Так/3
	45	290	4	Так/2
100	15	70	2	Так/2
	30	151	3	Так/3
	45	232	3	Так/3
120	15	59	2	Так/2
	30	126	3	Так/3
	45	194	3	Так/3

У таблиці 3.5 є значення тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання, що забезпечує формування груп ТЗ чисельністю, що відповідає

кількості посадкових майданчиків, що дозволяє забезпечити обслуговування всіх ТЗ, що прибувають. Встановлено, що зазначена відповідність виконується при співвідношенні тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання до повної тривалості циклу, яка не перевищує 0,4.

За результатами моделювання встановлено, що при відношенні тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання до повної тривалості циклу, яка перевищує 0,4, за час дозвільного сигналу світлофора на зупинний пункт прибувають ТЗ, які не сформовані в групі. Для обслуговування зазначених ТЗ потрібна організація посадкових майданчиків, чисельність яких перевищує чисельність ТЗ у групах, що формуються під час заборонного сигналу світлофорного регулювання. На основі отриманих даних побудовані графіки, що відображають залежність пропускної спроможності зупинного пункту від тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання при посадці пасажирів. Кількість посадкових майданчиків визначена за умови виключення утворення дорожнього затору перед зупинкою. Зазначені графіки наведено рис. 3.3.

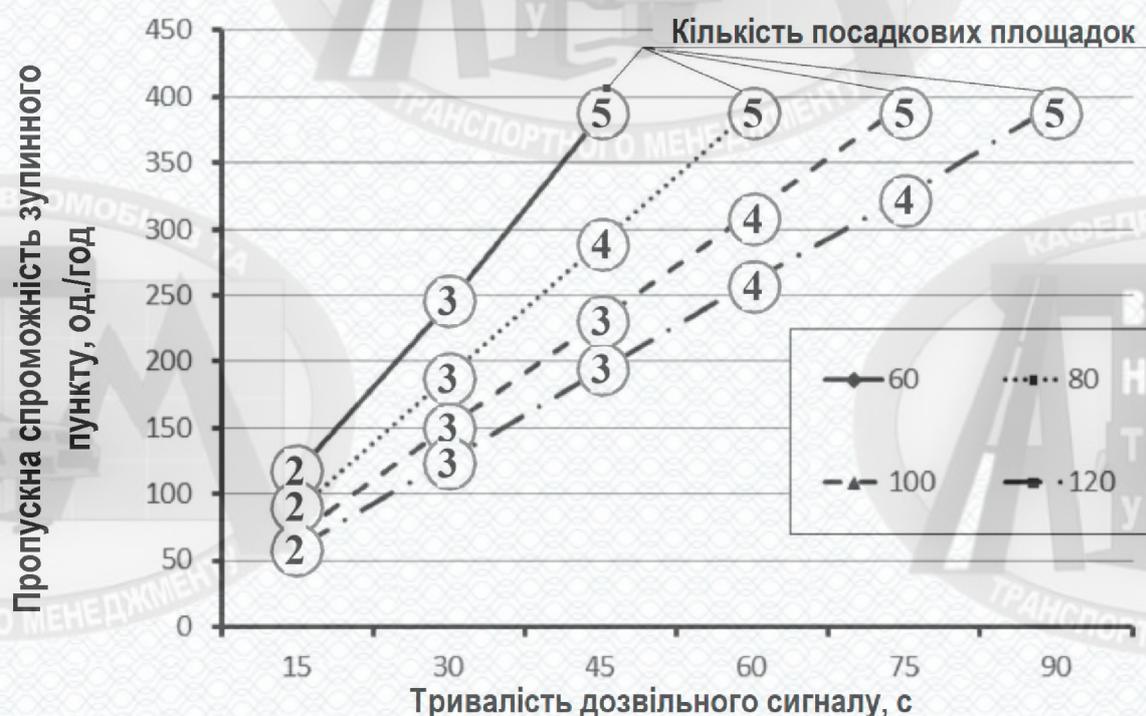


Рисунок 3.3 – Залежності пропускної спроможності зупинного пункту від тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання

На основі отриманих даних можуть бути визначені параметри світлофорного регулювання, що забезпечують необхідну пропускну спроможність пункту зупинки. На відміну від традиційного підходу, підвищення пропускну спроможності зупинного пункту досягається за рахунок формування груп ТЗ та забезпечення синхронного обслуговування ТЗ групи зупинним пунктом за рахунок включення до його складу необхідної кількості посадкових майданчиків.

Одна з умов реалізації цього підходу – забезпечення необхідної пропускну спроможності смуги на регульованому перетині. Для оцінки фактичного виконання даної умови за допомогою розробленої математичної моделі отримані дані, що відображають залежність пропускну спроможності смуги на регульованому перетині від параметрів світлофорного регулювання. Отримані дані наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Залежність пропускну спроможності регульованого перетину від співвідношення тривалості фаз світлофорного регулювання

Повна тривалість циклу, с	Тривалість дозвільного сигналу, с	Частка дозвільного сигналу від повної тривалості циклу	Пропускна спроможність смуги на регульованому перетині, од./год
1	2	3	4
60	12	0,2	90
	24	0,4	198
	36	0,6	306
	48	0,8	414
80	16	0,2	95
	32	0,4	203
	48	0,6	311
	64	0,8	419

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4
100	20	0,2	97
	40	0,4	205
	60	0,6	313
	80	0,8	421
120	24	0,2	99
	48	0,4	207
	72	0,6	315
	96	0,8	423

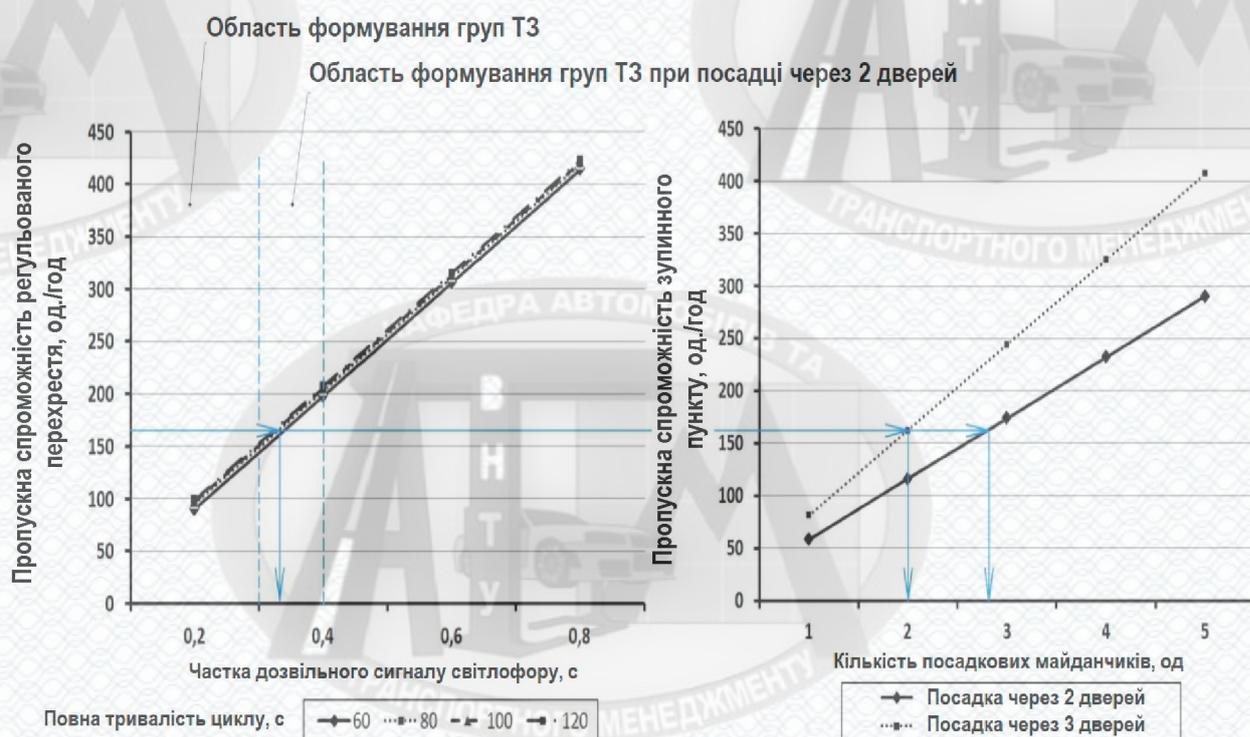
Як вихідні параметри прийняті: повна тривалість циклу світлофорного регулювання і тривалість дозвільного сигналу світлофорного регулювання. На підставі поєднання зазначених параметрів визначена частка дозвільного сигналу від повної тривалості циклу світлофорного регулювання, дане співвідношення використано як результуючий вхідний параметр.

Іншим видом даних, необхідні практичної реалізації запропонованого підходу, є інформація, що відбиває залежність пропускну спроможності зупинного пункту від кількості посадкових площадок. Дані, отримані за результатами моделювання, наведено в таблиці 3.7. Отримані залежності дозволяють визначити параметри світлофорного регулювання, що забезпечують максимальну продуктивність пункту зупинки з урахуванням мимовільного формування груп ТЗ та їх синхронного обслуговування зупинним пунктом.

На підставі даних, поданих у таблицях 3.6 та 3.7, побудовано графіки, подані на рисунку 3.4. Комбіноване застосування даних графіків дозволяє визначити параметри світлофорного регулювання, і кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, що забезпечують задану пропускну спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі.

Таблиця 3.7 – Залежність пропускної спроможності зупинного пункту від кількості посадкових майданчиків

Кількість посадкових площадок, од.		1	2	3	4	5
Пропускна спроможність зупинного пункту, од./год	Посадка через 2 дверей з	58	116	174	232	290
	Посадка через 3 дверей	81	162	244	325	407



а) залежність пропускної спроможності регульованого перехрестя від співвідношення тривалості фаз світлофорного регулювання; б) залежність пропускної спроможності зупинного пункту від кількості посадкових майданчиків

Рисунок 3.4 – Визначення параметрів світлофорного регулювання, що забезпечують пропускну спроможність зупинного пункту, що відповідає інтенсивності руху Т3

На побудованих графіках (див. рис. 3.4) проводиться горизонтальна лінія, положення якої відповідає максимальній інтенсивності руху пасажирських Т3.

Абсциси точок перетину побудованої горизонтальної лінії з графіками пропускної спроможності регульованого перетину та зупинного пункту показують мінімально-допустиме значення частки дозвільного сигналу світлофора від загальної тривалості циклу і необхідну кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, що забезпечують задану пропускну спроможність.

Залежно від отриманого значення частки дозвільного сигналу світлофора, встановлюється можливість формування груп ТЗ чисельністю, що відповідає кількості посадкових майданчиків на зупинному пункті. При встановленій частині дозвільного сигналу світлофора менше 0,3 ця умова виконується за будь-якого способу організації пасажирообміну на пункті зупинки. При встановленій частці дозвільного сигналу світлофора від 0,3 до 0,4 ця умова виконується при односторонньому пасажирообміні, організованому через двоє дверей ТЗ.

Оскільки параметри світлофорного регулювання надають безпосередній вплив на характер руху всіх транспортних потоків на регульованому перетині, кращим рішенням є заходи, пов'язані зі зміною кількості посадкових майданчиків на пункті зупинки при незмінних фазах світлофора. У разі реалізації заходів, що передбачають зміну параметрів світлофорного регулювання, необхідно проведення оцінки їхнього впливу на характер руху всієї сукупності транспортних потоків.

### **3.4 Висновки до розділу 3**

На основі результатів моделювання виконано ранжування факторів, що визначають величину пропускної спроможності зупинних пунктів за умов формування груп ТЗ. За результатами ранжирування визначено розмірність областей, що описують залежність пропускної спроможності пунктів зупинки від величини найбільш значущих параметрів.

Отримані результати дозволили зробити побудову залежностей, що описують сукупний вплив найбільш значимих параметрів на пропускну спроможність зупинних пунктів, що визначається з урахуванням формування груп ТЗ та забезпечення синхронного їх обслуговування зупинним пунктом.

Розроблено алгоритм, що дозволяє визначити взаємоузгоджені значення параметрів світлофорного регулювання та кількості посадкових майданчиків зупинного пункту, що забезпечують його максимальну пропускну спроможність з урахуванням формування груп пасажирських ТЗ, які синхронно обслуговуються зупинним пунктом.

Зупинки, розташовані на проїзній частині, здатні знизити пропускну спроможність смуги руху на 20-30%, особливо під час пікових навантажень, що спричиняє формування локальних заторів та зростання часу транспортних затримок. Підвищення пропускну спроможності зупинок дозволяє уникнути блокування смуг та збільшити швидкість сполучення міського пасажирського транспорту.

## 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

### 4.1 Реалізація розробленої методики на ділянці вулиці Келецька (зупинний пункт «вул. Шевченка»)

Практичні заходи щодо підвищення пропускної спроможності транспортної інфраструктури розроблені на прикладі однієї з ділянок вулично-дорожньої мережі міста Вінниця по вулиці Келецька. Як об'єкт дослідження обрано частину вулиці Келецька на перегоні від вулиці Данила Галицького до вулиці Тараса Шевченка. Ділянка включає регульований перетин і зупинний пункт міського громадського транспорту «вул. Шевченка». Схема даної ділянки представлена на рисунку 4.1.

Через пункт зупинки «вул. Шевченка» проходить 13 маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування, основні параметри даних маршрутів наведено у таблиці 4.1.



Рисунок 4.1 – Досліджувана ділянка вулиці Келецька на перегоні від вулиці Данила Галицького до вулиці Тараса Шевченка

Інформація у таблиці 4.1 щодо інтервалів руху ТЗ на визначених маршрутах взята з офіційного транспортного інтернет-сервісу «Вінницький трамвай» [3].

Таблиця 4.1 – Параметри маршрутів міського пасажирського транспорту м. Вінниця, що проходять через пункт зупинки «вул. Шевченка» по вул. Келецька

Номер та назва маршруту		Пасажиромісткість ТЗ, чол.	Інтервал руху ТЗ в годину «пік», хв	Організація пасажиروобміну на зупинці
Автобус	№19 «Вишенька - Вінницькі Хутори»	100	45	2-3 дверей
	№21 «Барське шосе - Педколедж»	100	40	2-3 дверей
	№24 «Вишенька - Вул. Бучми (ліс)»	100	40	2-3 дверей
	№28а «Вишенька - Вінницяоблводоканал»	40	12	2 дверей
Тролейбус	№3 «Вишенька - ВПЗ»	100	12	3 дверей
	№4 «Вишенька - Лугова»	100	15	3 дверей
	№5 «Залізничний вокзал - Вишенька»	100	13	3 дверей
	№10 «Вишенька - Вул. Гетьмана Мазепи»	100	27	3 дверей
	№15 «Вишенька - Муніципальний ринок»	100	28	3 дверей
	№16 «Вишенька - Муніципальний ринок - ВПЗ»	100	97	3 дверей
	№18 «Вишенька - Вул. Юзвинська – Залізничний вокзал»	100	43	3 дверей
	№20 «Вишенька - Хутір Шевченка»	100	98	3 дверей
	№22 «Вишенька - Водоканал - Селище Десна»	100	87	3 дверей

Для отримання даних, необхідних для моделювання пропускнуої спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі, що розглядається, проведено підрахунок

пасажирів, що здійснюють посадку і висадку в транспортні засоби на розглянутому зупинному пункті. Результати наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати дослідження руху пасажирів на зупинному пункті «вул. Шевченка» у годину пік (8:00 – 9:00) у робочі дні (вересень), чол

Маршрут	Пасажиروобмін	Рейс				
		1	2	3	4	5
А №19	Зайшли	6	-	-	-	-
	Вийшли	8	-	-	-	-
А №21	Зайшли	5	-	-	-	-
	Вийшли	7	-	-	-	-
А №24	Зайшли	9	-	-	-	-
	Вийшли	6	-	-	-	-
А №28а	Зайшли	2	3	3	3	3
	Вийшли	0	5	2	2	3
Т №3	Зайшли	5	6	9	8	5
	Вийшли	7	8	4	6	4
Т №4	Зайшли	6	5	8	5	-
	Вийшли	4	4	3	5	-
Т №5	Зайшли	6	7	7	6	-
	Вийшли	5	8	4	5	-
Т №10	Зайшли	4	6	-	-	-
	Вийшли	3	4	-	-	-
Т №15	Зайшли	3	4	-	-	-
	Вийшли	2	2	-	-	-
Т №16	Зайшли	6	-	-	-	-
	Вийшли	4	-	-	-	-
Т №18	Зайшли	5	-	-	-	-
	Вийшли	5	-	-	-	-
Т №20	Зайшли	4	-	-	-	-
	Вийшли	2	-	-	-	-
Т №22	Зайшли	5	-	-	-	-
	Вийшли	3	-	-	-	-

Середня кількість пасажирів, що входять до ТЗ на пункті зупинки, становить 5,8 чол. Середня кількість пасажирів, що виходять із транспортних засобів, становить 5 чол. Досліджено режим роботи світлофорного об'єкта на перетині вулиці Келецької та вулиці Данила Галицького, результати дослідження представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Режим роботи світлофорного об'єкта на перетині вулиці Келецької та вулиці Данила Галицького

Напрямок	Тривалість заборонного сигналу	Тривалість жовтого сигналу	Тривалість дозвільного сигналу
вул. Келецька	50	3	45
вул. Данила Галицького	65	3	30

Відповідно до даних, відображених у таблиці 4.3, повна тривалість циклу світлофорного регулювання на перетині, що розглядається, становить  $c = 98$  с.

Для заданих умов виконано моделювання руху пасажирських транспортних засобів, розглянуто можливість формування груп пасажирських транспортних засобів при різних значеннях тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання. Результати моделювання представлені у таблиці 4.4.

За результатами моделювання встановлено, що за існуючого режиму регулювання забезпечується формування груп із двох транспортних засобів. Фактична пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, що розглядається, лімітується параметрами зупинного пункту і становить 72 од/год. Фактична інтенсивність руху пасажирських транспортних засобів у періоди пікових пасажиропотоків становить 78 од/год, тобто у години максимальної інтенсивності руху транспортних засобів на зупинному пункті формується черга, що призводить до збільшення часу затримки ТЗ на зупинному пункті, зниження середньої швидкості сполучення та погіршення показників економічної ефективності роботи пасажирського транспорту.

Таблиця 4.4 – Результати моделювання процесу формування груп пасажирських транспортних засобів на перетині вулиці Келецької та вулиці Данила Галицького у напрямку вулиці Тараса Шевченка

Тривалість світлофорного циклу, с	Тривалість дозвільного сигналу, с	Фактична інтенсивність руху ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі од./год	Розрахована пропускна спроможність пункту зупинки, од./год	Максимальна пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі за умовами регулювання ДР, од./год	Проектна кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, од.	Фактична кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, од.	Формування груп ТЗ / Кількість ТЗ в групі
98	15	29	26	54	3	1	Так/3
	30	29	26	77	2	1	Так/2
	45	29	26	105	2	1	Так/2
	60	29	26	87	2	1	Ні/2

Оскільки на регульованому перетині, при заданому режимі роботи засобів регулювання відбувається мимовільне формування груп ТЗ чисельністю 2 одиниці, облаштування на зупиночному пункті двох посадкових майданчиків (замість одного існуючого) при впровадженні виділеної смуги руху для міського пасажирського транспорту призведе до підвищення до максимальної пропускної спроможності зупинного пункту до 105 од./год, що значною мірою перевищує фактичну інтенсивність руху пасажирських ТЗ (29 од./год). Слід зазначити, що максимальна пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, що розглядається, забезпечується при існуючій тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання 45 секунд. Зміна параметрів світлофорного регулювання, в даному випадку, не доцільна виходячи з умови досягнення заданої пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі, та, виходячи з умови виключення негативного впливу на транспортні потоки.

Таким чином, за рахунок формування груп пасажирських ТЗ на регульованому перехресті та збільшення до 2 посадкових майданчиків на зупинному пункті, без впровадження виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій, пропускна спроможність пункту зупинки «вул. Шевченка», може бути збільшена на 9 % з 26 до 29 од./год. При впровадженні виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій, пропускна спроможність пункту зупинки «вул. Шевченка», може бути збільшена в 4 рази.

#### 4.2 Реалізація розробленої методики на ділянці вулиці Келецька (зупинний пункт «проспект Космонавтів»)

Практичні заходи щодо підвищення пропускної спроможності транспортної інфраструктури розроблені також на частині вулиці Келецька на перегоні від проспекту Космонавтів до зупинки «пр. Космонавтів». Ділянка включає регульований перетин і відповідний зупинний пункт міського громадського транспорту. Схема даної ділянки представлена на рисунку 4.2.

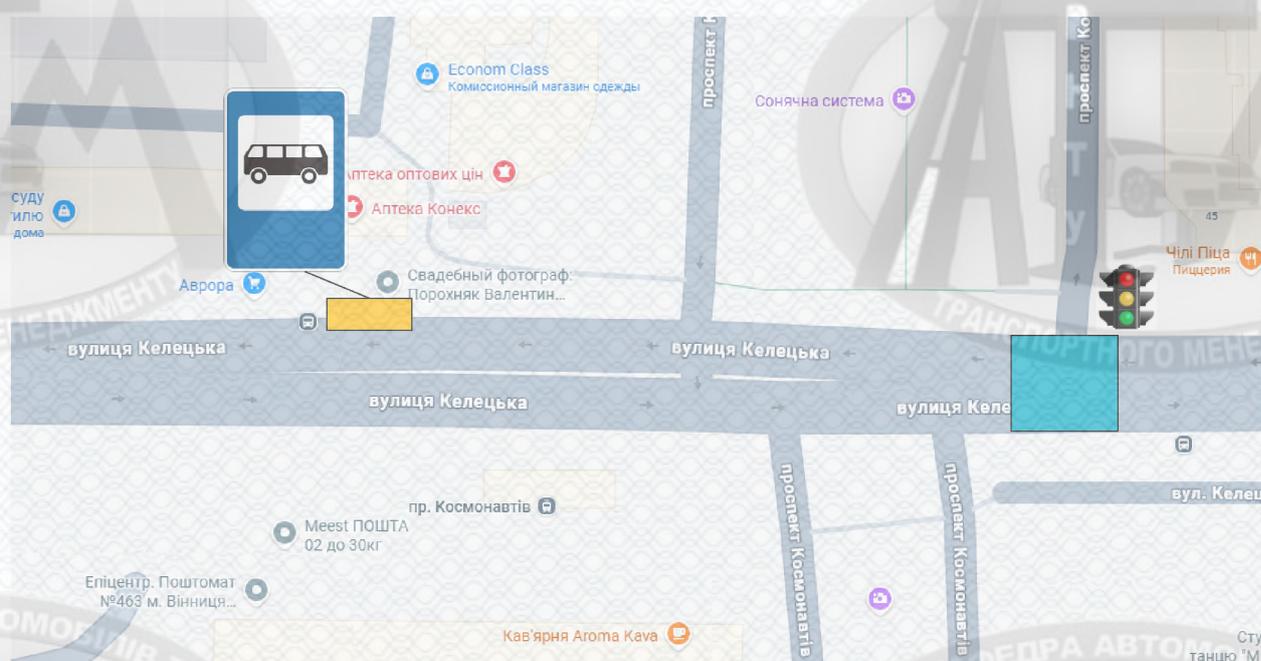


Рисунок 4.2 – Досліджувана ділянка вулиці Келецька на перегоні від проспекту Космонавтів до зупинки «пр. Космонавтів»

Через пункт зупинки «пр. Космонавтів» проходить 14 маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування, основні параметри даних маршрутів наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Параметри маршрутів міського пасажирського транспорту м. Вінниця, що проходять через пункт зупинки «пр. Космонавтів» по вул. Келецька

Номер та назва маршруту		Пасажиромісткість ТЗ, чол.	Інтервал руху ТЗ в годину «пік», хв	Організація пасажирообміну на зупинці
Автобус	№7 «вул. Якова Шепеля - Пирогово»	100	37	2-3 дверей
	№19 «Вишенька - Вінницькі Хутори»	100	45	2-3 дверей
	№21 «Барське шосе - Педколедж»	100	40	2-3 дверей
	№24 «Вишенька - Вул. Бучми (ліс)»	100	40	2-3 дверей
	№28а «Вишенька - Вінницяоблводоканал»	40	12	2 дверей
Тролейбус	№3 «Вишенька - ВПЗ»	100	12	3 дверей
	№4 «Вишенька - Лугова»	100	15	3 дверей
	№5 «Залізничний вокзал - Вишенька»	100	13	3 дверей
	№10 «Вишенька - Вул. Гетьмана Мазепи»	100	27	3 дверей
	№15 «Вишенька - Муніципальний ринок»	100	28	3 дверей
	№16 «Вишенька - Муніципальний ринок - ВПЗ»	100	97	3 дверей
	№18 «Вишенька - Вул. Юзвинська – Залізничний вокзал»	100	43	3 дверей
	№20 «Вишенька - Хутір Шевченка»	100	98	3 дверей
	№22 «Вишенька - Водоканал - Селище Десна»	100	87	3 дверей

Для отримання даних, необхідних для моделювання пропускну́ї спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі, що розглядається, проведено підрахунок пасажирів, що здійснюють посадку і висадку в транспортні засоби на розглянутому зупинному пункті. Результати наведено у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Результати дослідження руху пасажирів на зупинному пункті «пр. Космонавтів» у годину пік (8:00 – 9:00) у робочі дні (вересень), чол

Маршрут	Пасажирообмін	Рейс				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
А №7	Зайшли	4	-	-	-	-
	Вийшли	7	-	-	-	-
А №19	Зайшли	4	-	-	-	-
	Вийшли	6	-	-	-	-
А №21	Зайшли	3	-	-	-	-
	Вийшли	5	-	-	-	-
А №24	Зайшли	2	-	-	-	-
	Вийшли	6	-	-	-	-
А №28а	Зайшли	2	3	2	3	2
	Вийшли	1	4	3	2	4
Т №3	Зайшли	3	4	7	7	5
	Вийшли	8	9	6	8	6
Т №4	Зайшли	4	6	5	8	-
	Вийшли	6	5	6	5	-
Т №5	Зайшли	5	6	6	5	-
	Вийшли	7	8	6	7	-
Т №10	Зайшли	4	6	-	-	-
	Вийшли	6	5	-	-	-
Т №15	Зайшли	4	5	-	-	-
	Вийшли	5	5	-	-	-
Т №16	Зайшли	2	-	-	-	-
	Вийшли	4	-	-	-	-

Продовження таблиці 4.6.

1	2	3	4	5	6	7
Т №18	Зайшли	3	-	-	-	-
	Вийшли	5	-	-	-	-
Т №20	Зайшли	4	-	-	-	-
	Вийшли	4	-	-	-	-
Т №22	Зайшли	2	-	-	-	-
	Вийшли	4	-	-	-	-

Середня кількість пасажирів, що входять до ТЗ на пункті зупинки, становить 4,8 чол. Середня кількість пасажирів, що виходять із транспортних засобів, становить 5,7 чол. Досліджено режим роботи світлофорного об'єкта на перетині вулиці Келецької та проспекту Космонавтів, результати дослідження представлені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Режим роботи світлофорного об'єкта на перетині вулиці Келецької та вулиці Данила Галицького

Напрямок	Тривалість заборонного сигналу	Тривалість жовтого сигналу	Тривалість дозвільного сигналу
вул. Келецька	45	3	45
пр. Космонавтів	68	3	22

Відповідно до даних, відображених у таблиці 4.7, повна тривалість циклу світлофорного регулювання на перетині, що розглядається, становить  $c = 93$  с.

Для заданих умов виконано моделювання руху пасажирських транспортних засобів, розглянуто можливість формування груп пасажирських транспортних засобів при різних значеннях тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання. Результати моделювання представлені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Результати моделювання процесу формування груп пасажирських транспортних засобів на перетині вулиці Келецької та проспекту Космонавтів у напрямку вулиці Юності

Тривалість світлофорного циклу, с	Тривалість дозвільного сигналу, с	Фактична інтенсивність руху ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі од./год	Розрахована пропускна спроможність пункту зупинки, од./год	Максимальна пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі за умовами регулювання ДР, од./год	Проектна кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, од.	Фактична кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, од.	Формування груп ТЗ / Кількість ТЗ в групі
93	15	32	26	64	3	1	Так/3
	30	32	26	87	2	1	Так/2
	45	32	26	116	2	1	Так/2
	60	32	26	88	2	1	Ні/2

Оскільки на регульованому перетині, при заданому режимі роботи засобів регулювання відбувається мимовільне формування груп ТЗ чисельністю 2 одиниці, облаштування на зупиночному пункті двох посадкових майданчиків (замість одного існуючого) при впровадженні виділеної смуги руху для міського пасажирського транспорту призведе до підвищення до максимальної пропускної спроможності зупинного пункту до 116 од./год, що значною мірою перевищує фактичну інтенсивність руху пасажирських ТЗ (32 од./год). Слід зазначити, що максимальна пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі, що розглядається, забезпечується при існуючій тривалості дозвільного сигналу світлофорного регулювання 45 секунд. Зміна параметрів світлофорного регулювання, в даному випадку, не доцільна виходячи з умови досягнення заданої пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі, та, виходячи з умови виключення негативного впливу на транспортні потоки.

Таким чином, за рахунок формування груп пасажирських ТЗ на регульованому перехресті та збільшення до 2 посадкових майданчиків на зупинному пункті, без впровадження виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій, пропускна спроможність пункту зупинки «пр. Космонавтів», може бути збільшена на 23 % з 26 до 32 од./год. При впровадженні виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій, пропускна спроможність пункту зупинки «пр. Космонавтів», може бути збільшена в 4,5 рази.

Отже, запропоновані заходи дозволяють оцінити пропускну спроможність зупинних пунктів міської пасажирської мережі, та надати рекомендації щодо необхідності її підвищення, що дозволить уникнути утворення черг автобусів та тролейбусів перед зупинкою, зменшити випадки блокування смуг руху або формування локальних заторів.

#### 4.3 Висновки до розділу 4

Оцінка ефективності запропонованих заходів показала, що по вулиці Келецькій:

1. Пропускна здатність пункту зупинки «вул. Шевченка», може бути збільшена на 9 % з 26 до 29 од./год. за рахунок формування груп пасажирських ТЗ на регульованому перехресті та збільшення до 2 посадкових майданчиків на зупинному пункті, без впровадження виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту. При впровадженні виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій, пропускна спроможність пункту зупинки «вул. Шевченка», може бути збільшена в 4 рази.

2. Пропускна здатність пункту зупинки «пр. Космонавтів», може бути збільшена на 23 % з 26 до 32 од./год за рахунок формування груп пасажирських ТЗ на регульованому перехресті та збільшення до 2 посадкових майданчиків на зупинному пункті, без впровадження виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій. При впровадженні виділеної смуги руху – пропускна спроможність може бути збільшена в 4,5 рази.

## ВИСНОВКИ

Зростання чисельності пасажирських ТЗ, їх концентрація на міських магістралях (особливо у години пік), неузгодженість графіків руху ТЗ різних маршрутів призводять до формування заторних процесів на пунктах зупинки, що призводить до значного зниження ефективності роботи міського пасажирського транспорту, ефективності використання вулично-дорожньої мережі та транспортної інфраструктури.

При певному поєднанні факторів, що задаються параметрами вулично-дорожньої мережі, транспортного потоку, інтенсивності руху та структурою парку пасажирських ТЗ можуть бути створені умови, що забезпечують формування груп пасажирських ТЗ. Синхронне обслуговування груп пасажирських ТЗ зупинним пунктом забезпечує підвищення його пропускної спроможності.

Виходячи з математичного опису процесу руху пасажирських ТЗ, що обслуговують регулярні маршрути міського пасажирського транспорту, і теоретичного опису процесу формування груп пасажирських ТЗ на розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі, розроблена математична модель пропускної спроможності зупинного пункту, що описує процес руху пасажирських ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі, зупиночні пункти, що містить в собі виділену смугу для руху та регульовані перетини і враховує процеси, що визначають мимовільне формування груп пасажирських транспортних засобів.

Визначено фактори, що надають вирішальний вплив на параметри формування груп пасажирських ТЗ та на пропускну спроможність зупинного пункту міського пасажирського транспорту загального користування.

На основі результатів моделювання виконано ранжування факторів, що визначають величину пропускної спроможності зупинних пунктів за умов формування груп ТЗ. За результатами ранжирування визначено розмірність областей, що описують залежність пропускної спроможності пунктів зупинки від величини найбільш значущих параметрів.

Отримані результати дозволили зробити побудову залежностей, що описують сукупний вплив найбільш значимих параметрів на пропускну спроможність зупинних пунктів, що визначається з урахуванням формування груп ТЗ та забезпечення синхронного їх обслуговування зупинним пунктом.

Розроблено алгоритм, що дозволяє визначити взаємоузгоджені значення параметрів світлофорного регулювання та кількості посадкових майданчиків зупинного пункту, що забезпечують його максимальну пропускну спроможність з урахуванням формування груп пасажирських ТЗ, які синхронно обслуговуються зупинним пунктом.

Зупинки, розташовані на проїзній частині, здатні знизити пропускну спроможність смуги руху на 20-30 %, особливо під час пікових навантажень, що спричиняє формування локальних заторів та зростання часу транспортних затримок. Підвищення пропускну здатності зупинок дозволяє уникнути блокування смуг та збільшити швидкість сполучення міського пасажирського транспорту.

Оцінка ефективності запропонованих заходів по вулиці Келецькій:

1. Пропускна здатність пункту зупинки «вул. Шевченка», може бути збільшена на 9 % з 26 до 29 од./год. за рахунок формування груп пасажирських ТЗ на регульованому перехресті та збільшення до 2 посадкових майданчиків на зупинному пункті, без впровадження виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту. При впровадженні виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій, пропускна спроможність пункту зупинки «вул. Шевченка», може бути збільшена в 4 рази.

2. Пропускна здатність пункту зупинки «пр. Космонавтів», може бути збільшена на 23 % з 26 до 32 од./год за рахунок формування груп пасажирських ТЗ на регульованому перехресті та збільшення до 2 посадкових майданчиків на зупинному пункті, без впровадження виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій. При впровадженні виділеної смуги руху – пропускна спроможність може бути збільшена в 4,5 рази.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вакуленко К. Є. Вибір автотранспортного засобу на маршрутах міського пасажирського транспорту: дисс... канд. техн. наук. Харків, 2009. 196 с.
2. Вакуленко К. Є., Доля К. В. Управління міським пасажирським транспортом : навч. посібник. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 257 с.
3. Вінницький Трамвай. Транспортний сайт міста Вінниця. [Електронний ресурс]. URL: <https://depo.vn.ua/route/bytable/trol> (дата звернення 20.11.2025 р.).
4. Гульчак О. Д. Підвищення ефективності міських пасажирських перевезень на основі удосконалення організації руху автобусів: автореф. дис. на здобуття канд. техн. наук: 20.10.05. К: НТУ, 2005. 19 с.
5. Доля В. К. Пасажирські перевезення: Підручник. Харків: «Вид-во Форт», 2011. 504 с.
6. Доля В. К., Григоров М. А., Усатов В. В. Маркетингові дослідження розвитку дорожньо-транспортних систем : [монографія]. Одеса, 2008. 62 с.
7. Закон України «Про автомобільний транспорт» від 05.04.2001 р. №2344-III// Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, N 22, ст. 105.
8. Кашканов В. А. Актуальність використання програм з імітаційного моделювання транспортних потоків для підготовки фахівців автотранспортної галузі. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Полтава, 20-21 березня 2023 року). Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. С. 403-407. URL: <https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/9720>
9. Кашканов В. А. Недоліки управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях. Матеріали LIV науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/24070/19888>
10. Кашканов В. А., Каспрук В.О. Покращення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах. НТКП ВНТУ. Науково-технічна конференція

факультету машинобудування та транспорту (2021) : Електронне наукове видання матеріалів конференції. Вінниця: ВНТУ, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/11908/9962>

11. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. Організація автомобільних перевезень: навчальний посібник, Вінниця : ВНТУ, 2017. 139 с.

12. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Кужель В. П. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. 104 с.

13. Кашканов В.А., Лужанський Д.М. Необхідність покращення ефективності організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст. Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 95-97.

14. Кашканов В.А., Осьмірко С.О. Актуальність вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міста Вінниця. Матеріали XVI-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року, м. Вінниця, ВНТУ. 396с. С. 169-170. URL: [https://atm.vntu.edu.ua/konf/Zbirnyk\\_STPR\\_AT\\_2023.pdf](https://atm.vntu.edu.ua/konf/Zbirnyk_STPR_AT_2023.pdf)

15. Кашканов В. А., Рябушенко О. В., Томляк К. І. Зниження заторних процесів на пунктах зупинки маршрутів міського пасажирського транспорту. *Тези доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції «Інновації у системах управління безпекою та дорожнім рухом»*. ХНАДУ. Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2025. С. 50-51. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.newroute.org.ua/wp-content/uploads/in202512.01.pdf>

16. Кашканов В.А., Томляк К.І. Актуальність підвищення пропускної спроможності об'єктів транспортної інфраструктури. Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький

національний технічний університет [та інш.]. Вінниця: ВНТУ, 2025. (PDF, 536 с.) С. 199-201. ISBN 978-617-8163-71-6 (PDF). URL: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/926/1614/2935-1>

17. Кристопчук М.Є., Лобашов О.О. Приміські пасажирські перевезення: навчальний посібник. Х.: НТМТ, 2012. 224 с.

18. Куниця О. А. Зниження часу очікування пасажирами міських маршрутних транспортних засобів : дисс. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. Харків: ХНАМГ. 2008. 179 с.

19. Лігум Ю. С. Інформаційні системи на транспорті: навч. посібник. К.: УТУ, 2000. 196 с.

20. Мірошніченко Л., Саприкін Г. Автомобільні перевезення: організація та облік : 3-є вид. перер. і доп., Х. : Фактор. 2004. 520 с.

21. Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами) спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» [Електронний ресурс] / Уклад. В. В. Біліченко, С. В. Цимбал, В. П. Кужель. Вінниця: ВНТУ, 2024. 82 с.

22. Нагребельна Л.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст: дисс... на здобуття наукового ступеня доктора філософії. НТУ. Київ, 2021. 180 с.

23. Проблеми ергономіки і логістики в транспортних системах міста: Монографія / Е. В. Гаврілов, Ю. О. Давідіч, В. Ф. Марченко та ін.; ХНАМГ. Горлівка; ПП «Видавництво Ліхтар», 2009. 516 с.

24. Рябушенко О.В., Склярів М.В., Кашканов В.А. Дослідження показників якості організації дорожнього руху в умовах міста методом GPS-треків. *Вісник машинобудування та транспорту*. №17 (1), 2023, С. 129-137. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-129-137>.

25. Степанчук О.В. Методологічні основи підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст. *Проблеми розвитку міського середовища*. Вип. 5-6. 2011. С. 230-236.

26. Яновський П.О. Пасажирські перевезення: навч. посіб. К.: НАУ, 2008. 469с.
27. Azhar Al-Mudhaffar, Albania Nissan, Karl-Lennart Bang. Bus Stop and Bus Terminal Capacity. December 2016. *Transportation Research Procedia*. 14, P. 1762-1771. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.trpro.2016.05.142>
28. Butkevičius J. Passenger Transport: monograph. Vilnius: *Technika*, 2002, P. 150-162.
29. Daganzo C., Gayah V., Gonzales E. Macroscopic Relations of Urban Traffic Variables: Bifurcations, Multivaluedness and Instability. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2011. 45(1). P. 278-288
30. Intelligent transport systems and services. ITS-part of everyone's daily life. ERTICO – ITS Europe navigation technologies. Brussels, 2002, P. 8, 43-55.
31. Fernandez R., Delpiano R. Delays and queues of buses at bus stops. 2023. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20647.01448>
32. Gibson J., Baeza I., Willumsen L. Bus-stops, congestion and congested bus-stops. June 1989. *Traffic Engineering and Control*, 30(6), P. 291-296. URL: [https://www.researchgate.net/publication/285765251\\_Bus-stops\\_congestion\\_and\\_congested\\_bus-stops](https://www.researchgate.net/publication/285765251_Bus-stops_congestion_and_congested_bus-stops)
33. Griskeviciene, D., Griskevicius, A. Feasibility of Reviving and Development of Local Public Transport in Lithuanian Regions. In: *Transport and Telecommunication*, Vol. 7, No 2. *Proceedings of international conference RelStat-2005*. Riga: TTI, 2006. P. 375-381.
34. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Washington, D.C. 2016. 2000+ p.
35. Luo, T., Liu, X. & Jin, H. Bus queue time estimation model for a curbside bus stop considering the blocking effect. *Sci Rep.* 12, 11576 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15485-z>
36. Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCQSM). [Електронний ресурс]. URL: [https://www.trb.org/publications/tcrp/tcrp\\_webdoc\\_6-d.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.trb.org/publications/tcrp/tcrp_webdoc_6-d.pdf?utm_source=chatgpt.com)

## **ДОДАТКИ**

Додаток А  
(обов'язковий)

## **ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

**ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗУПИННИХ ПУНКТІВ  
МАРШРУТІВ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ  
ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ЗУПИННИХ ПУНКТІВ  
ПО ВУЛИЦІ КЕЛЕЦЬКА МІСТА ВІННИЦІ**

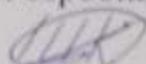
Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

Кафедра АТМ

Ілюстративна частина  
до магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему:

**«Підвищення пропускної здатності зупинних пунктів маршрутів  
міського пасажирського транспорту загального користування на  
прикладі зупинних пунктів по вулиці Келецька міста Вінниці»**

спеціальність 275 – Транспортні технології

Розробив: ст. гр. ІТТ-24м  
 Томляк К. І.

Керівник МКР: к.т.н., доц. каф. АТМ  
 Кашканов В.А.

Вінниця ВНТУ 2025

## **Мета дослідження**

Розробка теоретичних і практичних рекомендацій щодо оцінки пропускної спроможності зупинних пунктів міської пасажирської мережі та необхідності її підвищення для уникнення утворення черг міського громадського транспорту перед зупинкою та зменшення випадків блокування смуг руху або формування локальних заторів.

## **Завдання дослідження**

- виконати аналіз стану питання пропускної здатності зупинних пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування;
- дослідити забезпечення пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі на основі формування груп пасажирських транспортних засобів;
- виконати моделювання пропускної спроможності зупинного пункту в умовах формування груп пасажирських транспортних засобів;
- оцінити ефективність запропонованих заходів.

## **Методи досліджень**

Дослідження виконані за допомогою загальнонаукових методів досліджень, таких як абстрагування, аналіз, синтез, пояснення, класифікація, узагальнення.

**Об'єкт дослідження** – процеси, що визначають пропускну спроможність зупинного пункту міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування.

**Предмет дослідження** – залежності пропускну спроможності зупинного пункту міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування від параметрів світлофорного регулювання, що визначають формування груп пасажирських транспортних засобів.

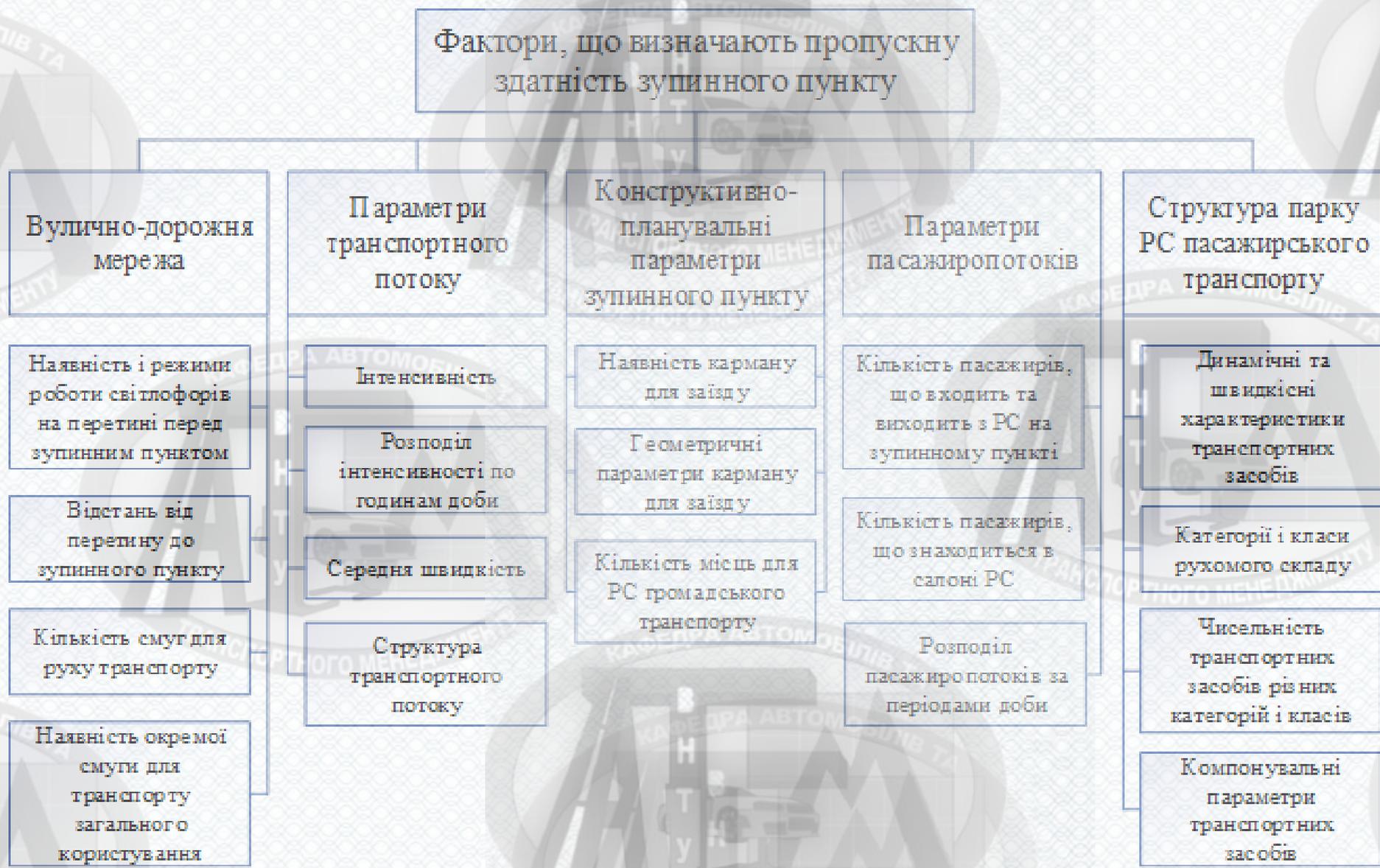
### **Новизна одержаних результатів**

отримана через виявлені залежності пропускну спроможності зупинного пункту від параметрів світлофорного регулювання, що відрізняються врахуванням процесів формування груп транспортних засобів, що синхронно обслуговуються зупинним пунктом.

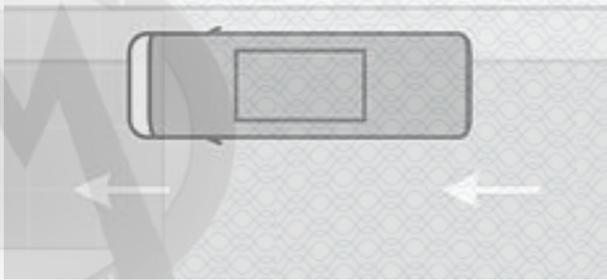
### **Практичне значення одержаних результатів**

Отримані результати містять перспективні напрямки підвищення пропускну здатності дорожньої інфраструктури міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування.

# Класифікація факторів, що визначають пропускну здатність зупинного пункту



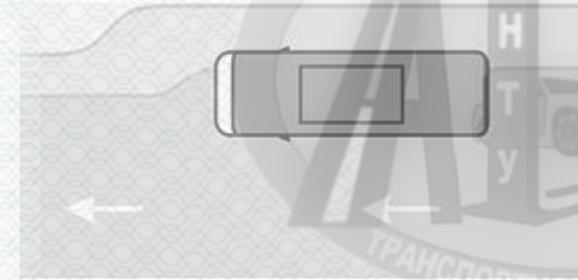
## Характеристика зупинних пунктів міського пасажирського транспорту



Придорожня (лінійна) зупинка на проїзній частині



Зупинка у заїзній "кишені"



Виступаюча зупинка



Острівна (центральна) зупинка



Спеціалізована зупинка на ізолюваному коридорі (виділеній смузі)

## Вплив типу планувального рішення на пропускну спроможність зупинних пунктів міського громадського транспорту

Тип зупинного пункту	Характеристика руху на зупинці	Пропускна спроможність, автобусів/год	Пропускна спроможність, пас.-од./год
Зупинка на смузі руху (лінійна)	Автобус зупиняється в загальному транспортному потоці, перешкоджаючи руху	20–30	70–90
Зупинка у "кишені" (bus-bay)	Автобус заїжджає в окрему виїмку, не блокуючи потік	30–40	90–110
Зупинка-виступ (bus-bulb)	Автобус не заїжджає у кишеню, мінімальні втрати часу	40–55	120–150
Острівна (центральна) зупинка	Для BRT, трамваю або центральної смуги; мінімальна взаємодія з потоком	50–70	150–180
Зупинка на виділеній смузі	Транспорт рухається безперервно, з виділеним коридором	60–90	160–220
BRT-зупинка на ізольованому коридорі	Максимальний пріоритет, можливість обслуговування декількох автобусів одночасно	90–120	220–300

\*Пас.-од./год – умовні пасажиро-одиниці, що враховують місткість автобусів і продуктивність.

## Методи підвищення пропускної спроможності зупинних пунктів та скорочення заторних ситуацій

Найменування методу	Особливості	Переваги	Недоліки
Організація виділених смуг для МГПТ	МГПТ, рухаючись по виділеній смузі, не стоїть у дорожніх заторах разом з іншими ТЗ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Підвищення ефективності роботи МГПТ.</li> <li>2. Зниження середнього часу поїздки одного пасажирів.</li> <li>3. Зниження негативного впливу пасажирського транспорту загального користування на довкілля.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зниження загальної пропускної спроможності дороги.</li> <li>2. Погіршення дорожніх умов власникам автомобілів.</li> </ol>
Заборона паркування транспортних засобів на найбільш завантажених ділянках міської території	Паралельне застосування «перехоплюючих» паркувань при умові організації налагодженої роботи МГПТ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зниження навантаження на вулично-дорожню мережу та міську транспортну інфраструктуру.</li> <li>2. Оздоровлення екологічних показників міського транспортного комплексу.</li> </ol>	Погіршення транспортної доступності міської території
Поділ посадочних місць на одному пункті зупинки	Розподіл проводиться за допомогою спеціальних знаків та огорож	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Скорочення витрат часу на посадку та висадку пасажирів.</li> <li>2. Підвищення пропускної спроможності зупинного пункту.</li> <li>3. Підвищення продуктивності ТЗ міського пасажирського транспорту.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Збільшення розмірів та вартості зупинних пунктів.</li> <li>2. Незручність посадки для пасажирів, які використовують кілька альтернативних маршрутів.</li> </ol>



## Елементи математичного опису руху пасажирських транспортних засобів

Схема руху ТЗ від перехрестя до зупинного пункту

Загальний час, що витрачається на переміщення пасажирських транспортних засобів через ділянку вулично-дорожньої мережі



$$T_t = T_m + T_j + T_s,$$

$T_m$  – час руху ТЗ на ділянці маршруту, що розглядається, с;  
 $T_j$  – час затримки пасажирського транспортного засобу на перехресті, с;  
 $T_s$  – час затримки пасажирського транспортного засобу на пункті зупинки, с.

$$T_m = t_1 + t_2 + t_3,$$

де  $t_1$  – час розгону (прискорення) до заданої швидкості, с;  
 $t_2$  – час рівномірного руху, с;  
 $t_3$  – час гальмування до досягнення зупинного пункту, с

Величина затримки транспортного засобу на пункті зупинки

Розгорнутий вираз для розрахунку часу, що витрачається на переміщення пасажирських транспортних засобів через ділянку вулично-дорожньої мережі

$$T_t = \frac{v_{const}^2 - 26 \cdot L_{uds} \cdot a_{uds}}{13 \cdot a_{acl}} + 3,6 \cdot \frac{v_{const} - \sqrt{26 \cdot S_{Ni} \cdot a_{aks}}}{v_{const}} + \sqrt{\frac{2 \cdot S_{Ni}}{a_{aks}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot L_{uds}}{0,335}} + t_{доп} + t_{од} + t_{обсл} +$$

$$t_{пво} + t_{зд} + t_{уб} + t_{конф} + \left. \begin{array}{l} \frac{v}{a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}}, \quad \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \frac{S_{de}}{v} + \frac{v}{2 \times a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}}, \quad \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \frac{v}{a_{de}} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \times a_{ac}}, \quad \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} > 0 \\ \frac{S_{de}}{v} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \times a_{de}} + \frac{v}{2 \times a_{ac}}, \quad \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} > 0 \end{array} \right\},$$

Пропускна спроможність регульованого перетину

$$Q_j = \frac{x_p \cdot (g-2) / c \cdot s_b}{f_b},$$

Пропускна спроможність зупинного пункту

$$Q_s = \frac{3600 \cdot n \cdot x_p}{t_s + t_d},$$

## Схеми формування груп пасажирських ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі



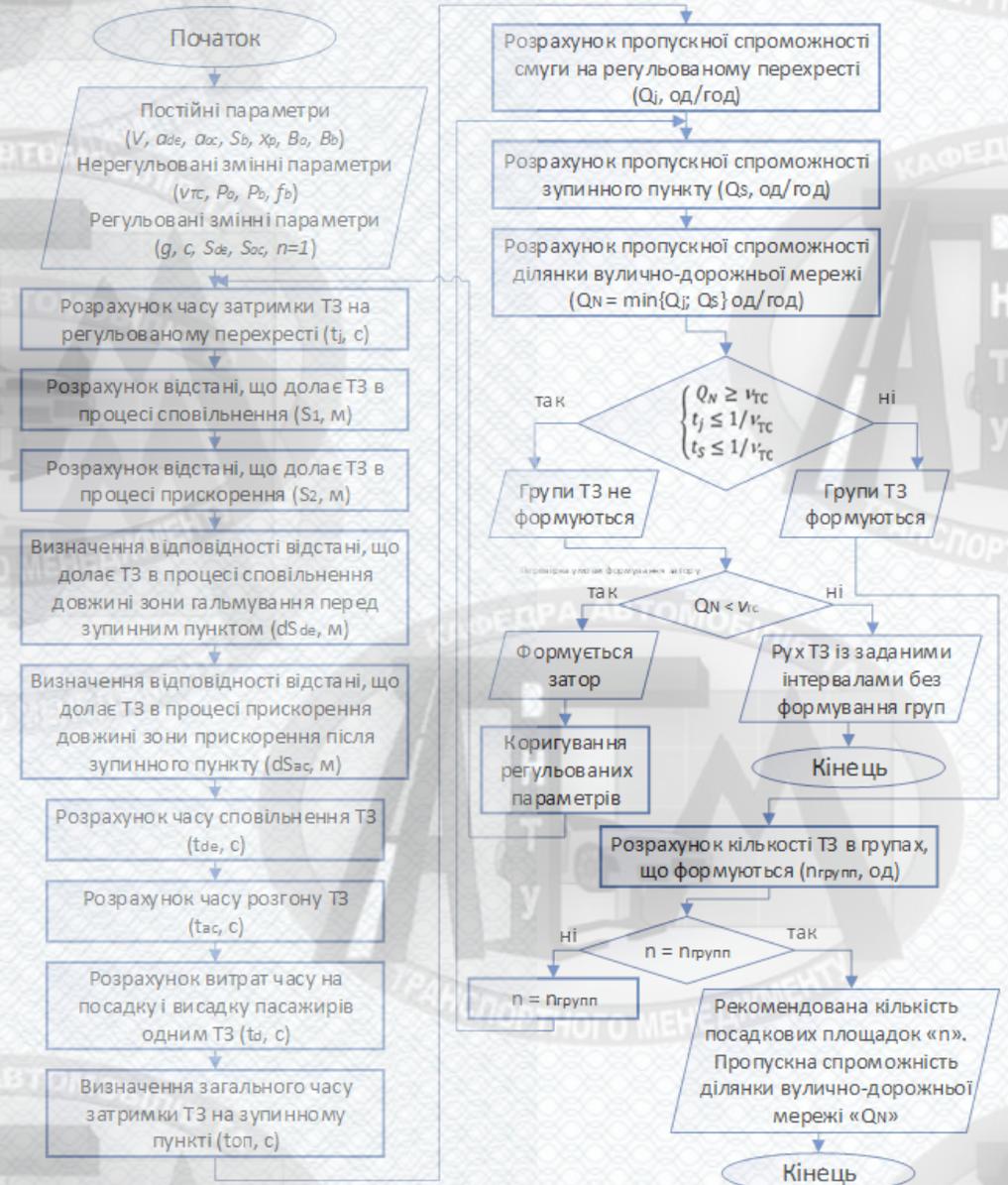
а) формування та подальше збереження груп транспортних засобів



б) розформування груп ТЗ при виїзді від пункту зупинки з недостатньою пропускнуою здатністю

## Моделювання пропускної спроможності ділянки вулично-дорожньої мережі

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Прийняте значення
Середня швидкість руху пасажирських ТЗ на перегонах між зупинними пунктами перед зоною уповільнення	$v$ , км/год	42,0
Середнє уповільнення пасажирських ТЗ перед перехрестям (зупинним пунктом)	$a_{de}$ , м/с <sup>2</sup>	1,2
Середнє прискорення пасажирських ТЗ після перехрестя (зупинного пункту)	$a_{ac}$ , м/с <sup>2</sup>	1,0
Потік насичення смуги руху ТЗ	$S_b$ , од./год	1800
Максимально-допустимий ступінь насичення регульованого перетину	$\chi_p$	0,9
Час висадки одного пасажиря	$\beta_{a'}$ , с	2
Час посадки одного пасажиря	$\beta_{b'}$ , с	3
Середня частота надходження ТЗ на розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі	$v_{TC}$ , 1/с	0,01-0,06
Середня кількість пасажирів, що висаджуються з одного ТЗ у 15-хв. інтервалі в піковий час	$P_a$ , чол	5-20
Середня кількість пасажирів, що входять до одного ТЗ 15-хв. інтервалі в піковий час	$P_b$ , чол	5-20
Коефіцієнт еквівалентності (визначається класом та категорією використовуваних ТЗ)	$f_b$ , легк.авт/автб	Табл. 2.1



## Результати моделювання

Результати моделювання максимальної пропускної спроможності зупинного пункту залежно від параметрів світлофорного регулювання та кількості посадкових майданчиків

Залежність пропускної спроможності регульованого перетину від співвідношення тривалості фаз світлофорного регулювання

Повна тривалість циклу, с	Тривалість дозвільного сигналу, с	Пропускна спроможність зупинного пункту, од./год	Кількість посадочних майданчиків на пункті зупинки, од.	Формування груп ТЗ / Кількість ТЗ у групі	Залежність пропускної спроможності регульованого перетину від співвідношення тривалості фаз світлофорного регулювання			
					Повна тривалість циклу, с	Тривалість дозвільного сигналу, с	Частка дозвільного сигналу від повної тривалості циклу	Пропускна спроможність смуги на регульованому перетині, од./год
60	15	117	2	Так/2	60	12	0,2	90
	30	244	3	Так/2		24	0,4	198
	45	387	5	Ні/-		36	0,6	306
80	15	88	2	Так/2	80	48	0,8	414
	30	189	3	Так/3		16	0,2	95
	45	290	4	Так/2		32	0,4	203
100	15	70	2	Так/2	100	48	0,6	311
	30	151	3	Так/3		64	0,8	419
	45	232	3	Так/3		20	0,2	97
120	15	59	2	Так/2	120	40	0,4	205
	30	126	3	Так/3		60	0,6	313
	45	194	3	Так/3		80	0,8	421
						24	0,2	99
						48	0,4	207
						72	0,6	315
						96	0,8	423

## Реалізація розробленої методики на ділянці вулиці Келецька

Досліджувана ділянка вулиці Келецька на перегоні від вулиці Данила Галицького до вулиці Тараса Шевченка



Результати дослідження руху пасажирів на зупинному пункті «вул. Шевченка» у годину пік (8:00 – 9:00) у робочі дні (вересень), чол

Номер та назва маршруту		Пасажирообмін ткість ТЗ, чол.	Інтервал руку ТЗ в годину «пік»_хв	Організація пасажирооб міну на зупинці
Автобус	№19 «Вишенька - Вінницькі Хутори»	100	45	2-3 дверей
	№21 «Барське шосе - Педколедж»	100	40	2-3 дверей
	№24 «Вишенька - Вул. Бучми (ліс)»	100	40	2-3 дверей
	№28a «Вишенька - Вінницяоблводоканал»	40	12	2 дверей
Тролейбус	№3 «Вишенька - ВПЗ»	100	12	3 дверей
	№4 «Вишенька - Лугова»	100	15	3 дверей
	№5 «Залізничний вокзал - Вишенька»	100	13	3 дверей
	№10 «Вишенька - Вул. Гетьмана Мазепи»	100	27	3 дверей
	№15 «Вишенька - Муніципальний ринок»	100	28	3 дверей
	№16 «Вишенька - Муніципальний ринок - ВПЗ»	100	97	3 дверей
	№18 «Вишенька - Вул. Юзвинська – Залізничний вокзал»	100	43	3 дверей
	№20 «Вишенька - Хутір Шевченка»	100	98	3 дверей
	№22 «Вишенька - Водоканал - Селище Десна»	100	87	3 дверей

Маршрут	Пасажирообмін	Рейс				
		1	2	3	4	5
A №19	Зайшли	6	-	-	-	-
	Вийшли	8	-	-	-	-
A №21	Зайшли	5	-	-	-	-
	Вийшли	7	-	-	-	-
A №24	Зайшли	9	-	-	-	-
	Вийшли	6	-	-	-	-
A №28a	Зайшли	2	3	3	3	3
	Вийшли	0	5	2	2	3
T №3	Зайшли	5	6	9	8	5
	Вийшли	7	8	4	6	4
T №4	Зайшли	6	5	8	5	-
	Вийшли	4	4	3	5	-
T №5	Зайшли	6	7	7	6	-
	Вийшли	5	8	4	5	-
T №10	Зайшли	4	6	-	-	-
	Вийшли	3	4	-	-	-
T №15	Зайшли	3	4	-	-	-
	Вийшли	2	2	-	-	-
T №16	Зайшли	6	-	-	-	-
	Вийшли	4	-	-	-	-
T №18	Зайшли	5	-	-	-	-
	Вийшли	5	-	-	-	-
T №20	Зайшли	4	-	-	-	-
	Вийшли	2	-	-	-	-
T №22	Зайшли	5	-	-	-	-
	Вийшли	3	-	-	-	-

## Реалізація розробленої методики на ділянці вулиці Келецька

Досліджувана ділянка вулиці Келецька на перегоні від проспекту Космонавтів до зупинки «пр. Космонавтів»

Результати дослідження руху пасажирів на зупинному пункті «пр. Космонавтів» у годину пік (8:00 – 9:00) у робочі дні (вересень)

Номер та назва маршруту		Пасажиромісткість ТЗ, чол.	Інтервал руху ТЗ в годину «пік», хв	Організація пасажиробміну на зупинці
Автобус	№7 «вул. Якова Шепеля - Пирогово»	100	37	2-3 дверей
	№19 «Вишенька - Вінницькі Хутори»	100	45	2-3 дверей
	№21 «Барське шосе - Педколедж»	100	40	2-3 дверей
	№24 «Вишенька - Вул. Бучми (ліс)»	100	40	2-3 дверей
	№28а «Вишенька - Вінницяоблводоканал»	40	12	2 дверей
Тролейбус	№3 «Вишенька - ВПЗ»	100	12	3 дверей
	№4 «Вишенька - Лугова»	100	15	3 дверей
	№5 «Залізничний вокзал - Вишенька»	100	13	3 дверей
	№10 «Вишенька - Вул. Гетьмана Мазепи»	100	27	3 дверей
	№15 «Вишенька - Муніципальний ринок»	100	28	3 дверей
	№16 «Вишенька - Муніципальний ринок - ВПЗ»	100	97	3 дверей
	№18 «Вишенька - Вул. Юзвинська – Залізничний вокзал»	100	43	3 дверей
	№20 «Вишенька - Хутір Шевченка»	100	98	3 дверей
	№22 «Вишенька - Водоканал - Селище Десна»	100	87	3 дверей

Маршрут	Пасажиробмін	Рейс				
		1	2	3	4	5
А №7	Зайшли	4	-	-	-	-
	Вийшли	7	-	-	-	-
А №19	Зайшли	4	-	-	-	-
	Вийшли	6	-	-	-	-
А №21	Зайшли	3	-	-	-	-
	Вийшли	5	-	-	-	-
А №24	Зайшли	2	-	-	-	-
	Вийшли	6	-	-	-	-
А №28а	Зайшли	2	3	2	3	2
	Вийшли	1	4	3	2	4
Т №3	Зайшли	3	4	7	7	5
	Вийшли	8	9	6	8	6
Т №4	Зайшли	4	6	5	8	-
	Вийшли	6	5	6	5	-
Т №5	Зайшли	5	6	6	5	-
	Вийшли	7	8	6	7	-
Т №10	Зайшли	4	6	-	-	-
	Вийшли	6	5	-	-	-
Т №15	Зайшли	4	5	-	-	-
	Вийшли	5	5	-	-	-
Т №16	Зайшли	2	-	-	-	-
	Вийшли	4	-	-	-	-
Т №18	Зайшли	3	-	-	-	-
	Вийшли	5	-	-	-	-
Т №20	Зайшли	4	-	-	-	-
	Вийшли	4	-	-	-	-
Т №22	Зайшли	2	-	-	-	-
	Вийшли	4	-	-	-	-

## Отримані результати

Результати моделювання процесу формування груп пасажирських транспортних засобів на перетині вулиці Келецької та вулиці Данила Галицького у напрямку вулиці Тараса Шевченка

Тривалість світлофорного циклу, с	Тривалість дозвільного сигналу, с	Фактична інтенсивність руху ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі од./год	Розрахована пропускна спроможність пункту зупинки, од./год	Максимальна пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі за умовами регулювання ДР, од./год	Проектна кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, од.	Фактична кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, од.	Формування груп ТЗ / Кількість ТЗ в групі
98	15	29	26	54	3	1	Так/3
	30	29	26	77	2	1	Так/2
	45	29	26	105	2	1	Так/2
	60	29	26	87	2	1	Ні/2

Результати моделювання процесу формування груп пасажирських транспортних засобів на перетині вулиці Келецької та проспекту Космонавтів у напрямку вулиці Юності

Тривалість світлофорного циклу, с	Тривалість дозвільного сигналу, с	Фактична інтенсивність руху ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі од./год	Розрахована пропускна спроможність пункту зупинки, од./год	Максимальна пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі за умовами регулювання ДР, од./год	Проектна кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, од.	Фактична кількість посадкових майданчиків на зупинному пункті, од.	Формування груп ТЗ / Кількість ТЗ в групі
93	15	32	26	64	3	1	Так/3
	30	32	26	87	2	1	Так/2
	45	32	26	116	2	1	Так/2
	60	32	26	88	2	1	Ні/2

## Основні висновки

Зростання чисельності пасажирських ТЗ, їх концентрація на міських магістралях (особливо у години пік), неузгодженість графіків руху ТЗ різних маршрутів призводять до формування заторних процесів на пунктах зупинки, що призводить до значного зниження ефективності роботи міського пасажирського транспорту, ефективності використання вулично-дорожньої мережі та транспортної інфраструктури.

При певному поєднанні факторів, що задаються параметрами вулично-дорожньої мережі, транспортного потоку, інтенсивності руху та структурою парку пасажирських ТЗ можуть бути створені умови, що забезпечують формування груп пасажирських ТЗ. Синхронне обслуговування груп пасажирських ТЗ зупинним пунктом забезпечує підвищення його пропускнуої спроможності.

Виходячи з математичного опису процесу руху пасажирських ТЗ, що обслуговують регулярні маршрути міського пасажирського транспорту, і теоретичного опису процесу формування груп пасажирських ТЗ на розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі, розроблена математична модель пропускнуої спроможності зупинного пункту, що описує процес руху пасажирських ТЗ на ділянці вулично-дорожньої мережі, зупиночні пункти, що містять в собі виділену смугу для руху та регульовані перетини і враховує процеси, що визначають мимовільне формування груп пасажирських транспортних засобів.

Визначено фактори, що надають вирішальний вплив на параметри формування груп пасажирських ТЗ та на пропускну спроможність зупинного пункту міського пасажирського транспорту загального користування. На основі результатів моделювання виконано ранжування факторів, що визначають величину пропускнуої спроможності зупинних пунктів за умов формування груп ТЗ. За результатами ранжирування визначено розмірність областей, що описують залежність пропускнуої спроможності пунктів зупинки від величини найбільш значущих параметрів. Отримані результати дозволили зробити побудову залежностей, що описують сукупний вплив найбільш значимих параметрів на пропускну спроможність зупинних пунктів, що визначається з урахуванням формування груп ТЗ та забезпечення синхронного їх обслуговування зупинним пунктом.

Розроблено алгоритм, що дозволяє визначити взаємоузгоджені значення параметрів світлофорного регулювання та кількості посадкових майданчиків зупинного пункту, що забезпечують його максимальну пропускну спроможність з урахуванням формування груп пасажирських ТЗ, які синхронно обслуговуються зупинним пунктом. Зупинки, розташовані на проїзній частині, здатні знизити пропускну спроможність смуги руху на 20-30 %, особливо під час пікових навантажень, що спричиняє формування локальних заторів та зростання часу транспортних затримок. Підвищення пропускнуої здатності зупинок дозволяє уникнути блокування смуг та збільшити швидкість сполучення міського пасажирського транспорту.

Оцінка ефективності запропонованих заходів по вулиці Келецькій:

1. Пропускна здатність пункту зупинки «вул. Шевченка», може бути збільшена на 9 % з 26 до 29 од./год. за рахунок формування груп пасажирських ТЗ на регульованому перехресті та збільшення до 2 посадкових майданчиків на зупинному пункті, без впровадження виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту. При впровадженні виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій, пропускна спроможність пункту зупинки «вул. Шевченка», може бути збільшена в 4 рази.

2. Пропускна здатність пункту зупинки «пр. Космонавтів», може бути збільшена на 23 % з 26 до 32 од./год за рахунок формування груп пасажирських ТЗ на регульованому перехресті та збільшення до 2 посадкових майданчиків на зупинному пункті, без впровадження виділеної смуги руху для громадського пасажирського транспорту по вулиці Келецькій. При впровадженні виділеної смуги руху – пропускна спроможність може бути збільшена в 4,5 рази.

Додаток Б  
(обов'язковий)

## **ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МКР НА ПЛАГІАТ**

ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗУПИННИХ ПУНКТІВ  
МАРШРУТІВ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ  
ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ЗУПИННИХ ПУНКТІВ  
ПО ВУЛИЦІ КЕЛЕЦЬКА МІСТА ВІННИЦІ

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення пропускну́ї здатності зупинних пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування на прикладі зупинних пунктів по вулиці Келецька міста Вінниці

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 2,8 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ  
(прізвище, ініціали, посада)

Кужель В.П., доцент кафедри АТМ  
(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

Здобувач

Кашканов В.А., доцент кафедри АТМ  
(прізвище, ініціали, посада)

Томляк К.І.

(прізвище, ініціали)