

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Факультет транспортних систем

Кафедра організації і безпеки дорожнього руху

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

АНАЛІЗ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА НЕРЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕТИНАННІ

Завідувач кафедри д-р техн. наук, проф.



I. С. Наглюк

Нормоконтролер ст. викладач


14.12.2023

О. С. Левченко

Керівник, канд. техн. наук, доцент


04.11.23

О. В. Рябушенко

Студент гр. ТД-61-22


14.12.23

А. О. Кутенко

Харків – 2023

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Факультет транспортних систем

Кафедра організації і безпеки дорожнього руху

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Освітня програма: організація та безпека дорожнього руху

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 **проф. Наглюк І.С.**

« 04 » вересня 2023 року

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кутенко Артему Олександровичу

1. Тема проекту (роботи) **Аналіз затримок транспортних засобів на нерегульованому перетинанні**

керівник проекту (роботи) **Рябушенко Олександр Васильович, к.т.н., доцент**
затверджені рішенням Вченої ради факультету від « 07 » вересня 2023 року № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 11 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): статистичні дані ДТП; літературні джерела.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Аналіз питання оцінки затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях; Визначення затримки транспортних засобів на перетинанні; Оцінка затримок транспортних засобів на нерегульованому перетинанні; Дослідження впливу геометричних параметрів перетинання на затримку транспортних засобів; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічний матеріал надано в електронному вигляді: Аналіз літературних джерел за темою дослідження; Схема затримки транспортного засобу на нерегульованому перетинанні; Схема виникнення затримки автомобіля на нерегульованому перехресті при безконфліктному маневруванні; Залежність впливу радіусу траєкторії руху автомобіля на затримку; Результати експериментальних досліджень; Співставлення аналітичної залежності затримки автомобіля з експериментальними даними

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
			

7. Дата видачі завдання 04.09 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Вступ	10.09.2023 р.	<i>виконано</i>
2.	Аналіз питання оцінки затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях	15.09.2023 р.	<i>виконано</i>
3.	Визначення затримки транспортних засобів на перетинанні	10.09.2023 р.	<i>виконано</i>
4.	Оцінка затримок транспортних засобів на нерегульованому перетинанні	15.10.2023 р.	<i>виконано</i>
5.	Дослідження впливу геометричних параметрів перетинання на затримку транспортних засобів	01.11.2023 р.	<i>виконано</i>
7.	Висновки	30.11.2023 р.	<i>виконано</i>
8.	Оформлення графічних матеріалів	06.12.2023 р.	<i>виконано</i>

Студент



(підпис)

Кутенко А. О

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Рябушенко О. В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 90 аркушів, 12 рисунків, 3 таблиці, 17 джерел, 2 додатки

ДОРОЖНІЙ РУХ, НЕРЕГУЛЬОВАНЕ ПЕРЕТИНАННЯ, ТРАНСПОРТНА ЗАТРИМКА, ШВИДКІСТЬ РУХУ, ТРАЄКТОРІЯ РУХУ, GPS-ТРЕКІНГ

Об'єкт дослідження – рух транспортних засобів через нерегульоване перетинання.

Мета роботи - аналіз впливу параметрів нерегульованого перетинання на затримки транспортних засобів.

Метод дослідження - аналітичний.

Отримані результати – проведено аналіз факторів, що впливають на величину затримки транспортного засобу при проїзді нерегульованого перетинання. Досліджено вплив геометричних параметрів нерегульованого перетинання на затримку. Отримані аналітичні залежності величин затримки транспортного засобу від радіусу траєкторії руху при безконфліктному маневруванні на нерегульованому перетинанні. Методом GPS-трекінгу проведені експериментальні дослідження щодо встановлення впливу радіусу траєкторії руху автомобіля на величину затримки.

Ступень впровадження – дослідницька. Рекомендації з впровадження – розробки, представлені в дипломній роботі можуть бути використані для оцінки параметрів якості вулично-дорожньої мережі міст.

Область застосування – транспорт.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз питання оцінки затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях.....	8
1.1 Огляд літературних джерел з проблемного питання.....	8
1.2 Аналіз різних підходів до визначення затримки транспортного засобу на перетинанні.....	11
1.3 Аналіз аналітичних залежностей для визначення затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях.....	13
1.4 Висновки по розділу 1.....	19
2 Визначення затримки транспортних засобів на перетинанні.....	20
2.1 Аналіз моделей руху транспортного потоку через нерегульоване перехрестя.....	20
2.2 Аналіз моделей визначення втрат транспортного часу на перетинаннях.....	28
2.3 Висновки по розділу 2.....	34
3 Оцінка затримок транспортних засобів на нерегульованому перетинанні.....	36
3.1 Аналітичне визначення затримки на нерегульованому перетинанні...	36
3.2 Визначення затримки транспортного засобу, що рухається з напрямку головної дороги.....	42
3.3 Визначення затримки транспортного засобу при безконфліктному повороті.....	46
3.4 Висновки до розділу 3.....	56
4. Дослідження впливу геометричних параметрів перетинання на затримку транспортних засобів.....	57
4.1 Вимоги до геометричних параметрів проїзної частини перетинань в одному рівні.....	57
4.2 Експериментальні дослідження впливу заокруглення проїзної частини нерегульованого перехрестя на затримку транспортних засобів	61
4.3 Визначення радіусів заокруглення проїзної частини на перетинаннях	65
4.4. Порівняння результатів експериментальних досліджень з теоретичною залежністю.....	67
4.5 Висновки до розділу 4.....	69
Висновки.....	71
Перелік посилань.....	73
Додаток А. Лістинг розрахунків.....	75
Додаток Б. Ілюстративний матеріал до дипломної роботи.....	87

ВСТУП

Основною метою організації дорожнього руху є забезпечення мінімізації часу пересування транспортних засобів по вулично-дорожній мережі. Час є дуже цінним ресурсом як для людини, так і для виробничого процесу. Оскільки переміщення транспорту вимагає певного часу, використовуються поняття корисного та втраченого часу. Втрати часу виникають через простої або рух з недостатньою швидкістю. Затримка руху є одним з головних показників якості транспортного процесу і виникає через перешкоди на дорозі. Витрати, пов'язані з цими затримками, є складовою частиною системи організації дорожнього руху. Оцінюються економічні втрати, пов'язані з затримками та їх впливом на час і вартість експлуатації транспортних засобів.

При прийнятті рішень щодо підвищення безпеки руху необхідно провести детальний аналіз причин затримок транспорту. Це дозволить знайти оптимальні рішення щодо типу дорожнього покриття для поліпшення умов руху при мінімальних втратах. Такий аналіз дозволяє виявити можливості зниження затримок транспортних засобів і визначити економічну основу раціонального планування перехресть, які сприятимуть поліпшенню організації дорожнього руху.

На основі аналізу різних джерел можна стверджувати, що головним фактором вартості затримок транспортного потоку є збільшення часу, який люди та вантажі проводять у дорозі. Деякі дослідження також враховують інші складові витрат від затримок, наприклад, втрати, які виникають внаслідок несвоєчасної поставки товарів. Для оцінки таких витрат використовуються різні моделі, такі як модель входів та виходів або модель загальної рівноваги. Проте, ці методи, головним чином, застосовуються для аналізу вже відомих наслідків серйозних аварій. Оскільки параметри перехрестя мають значний вплив на затримку руху, доцільно дослідити їх кількісне значення та ступінь цього впливу.

У зв'язку з цим, метою роботи було обрано проаналізувати вплив параметрів нерегульованого перетинання на затримки транспортних засобів.

Об'єкт дослідження – рух транспортних засобів через нерегульоване перетинання.

Предмет дослідження – вплив параметрів перехрестя на затримки транспортних засобів при його проїзді.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз питання оцінки затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях.
2. Провести аналітичні дослідження впливу геометричних параметрів нерегульованих перетинань на величину затримки транспортного засобу.
3. Провести експериментальні дослідження та отримати GPS-треки руху транспортного засобу через нерегульовані перетинання.
4. Провести співставлення результатів експериментального дослідження з отриманими аналітичними залежностями.

1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА НЕРЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕТИНАННЯХ

1.1 Огляд літературних джерел з проблемного питання

Оцінка затримок автомобілів на нерегульованих перетинах є важливим завданням у галузі автомобільного транспорту. Ця проблема стає особливо актуальною у містах із високою щільністю дорожнього руху, де нерегульовані перетину є незамінним елементом транспортної інфраструктури.

Незважаючи на значну кількість досліджень, оцінка затримок на нерегульованих перетинах все ще є складним завданням. Однією з основних причин є відсутність стандартних методик для вимірювання та аналізу даних. Крім того, на практиці не завжди можливо отримати точні дані про затримки, оскільки вони залежать від багатьох факторів, включаючи швидкість руху автомобілів, інтенсивність руху, переміщення пішоходів та інші фактори.

Одним із підходів до оцінки затримок автомобілів на нерегульованих перетинах є використання моделювання. Моделювання дозволяє змодельовати поведінку автомобілів та прогнозувати час затримок на перехрестях. Проте, точність моделювання залежить від якості вихідних даних та правильного вибору параметрів моделі.

Інші дослідження зосереджуються на використанні штучного інтелекту та машинного навчання для оцінки затримок на нерегульованих перехрестях. Ці методи дозволяють аналізувати велику кількість даних та виявляти закономірності у русі автомобілів.

Однак, незважаючи на всі зусилля, проблема оцінки затримок на нерегульованих перехрестях залишається відкритою і потребує подальших досліджень. Необхідно розробити більш точні методики збору та аналізу даних, а також покращити моделі та алгоритми для більш точної оцінки затримок автомобілів на нерегульованих перетинах.

Проблема оцінки затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях широко досліджена в галузі транспортної техніки та за останні кілька десятиліть численні наукові публікації сприяли нашому розумінню цієї складної проблеми.

Однією з основоположних робіт у з даної проблеми є дослідження під назвою «Методологія оцінки затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях» (A Methodology for Estimating Vehicle Delays at Unsignalized Intersections) [2]. Це дослідження представило комплексну методологію для оцінки затримок на нерегульованих перехрестях, враховуючи такі фактори, як інтенсивність руху, склад транспортного потоку та геометричні характеристики перетинання.

Іншим відомим дослідженням є робота Андерсона та Джонсона (2008) під назвою «Аналіз затримки транспортного засобу на нерегульованих перехрестях за допомогою мікросимуляції» (A Methodology for Estimating Vehicle Delays at Unsignalized Intersections.) [3]. У цьому дослідженні використовувалися методи мікромоделювання для моделювання та аналізу затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях, надаючи розуміння впливу різних стратегій управління дорожнім рухом.

Використання сучасних інформаційних технологій та засобів моделювання при дослідженні проблеми затримок на нерегульованих перетинаннях показано в роботі під назвою «Оцінка затримки транспортних засобів на нерегульованих перехрестях: підхід машинного навчання» (Analyzing Vehicle Delay at Unsignalized Intersections Using Microsimulation) [4]. В роботі представлено новий підхід із використанням алгоритмів машинного навчання для оцінки затримок на нерегульованих перехрестях. Це дослідження демонструє потенціал методологій на основі даних для точного оцінювання та прогнозування затримок.

Також окремі питання аналізу затримок транспортних засобів на перетинаннях автомобільних доріг розглядаються в багатьох інших дослідженнях [5-8].

Якщо проаналізувати загальні методи досліджень, які використовуються під час аналізу проблеми оцінки затримок автомобілів під час проїзду нерегульованих перетинів на основі публікації, можна виділити кілька основних напрямків:

1. Використання моделювання та симуляції. Багато досліджень звертається до моделювання та симуляції руху автомобілів на нерегульованих перетинах для оцінки затримок. Ці дослідження можуть включати використання математичних моделей, агентного моделювання чи дискретно-подійного моделювання.

2. Аналіз даних реальних спостережень. Деякі дослідження зосереджуються на збиранні та аналізі реальних даних про рух автомобілів на нерегульованих перетинах. Це може включати використання відеоспостереження або технології збору даних, таких як датчики руху або GPS.

3. Використання штучного інтелекту та машинного навчання. Деякі дослідження описують методики застосування штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) для оцінки затримок автомобілів на нерегульованих перетинах. Ці підходи можуть використовувати алгоритми класифікації, регресії чи глибокого навчання для аналізу великих обсягів даних.

4. Порівняльний аналіз різних методів. Деякі дослідження пропонують порівняльний аналіз різних методів та підходів до оцінки затримок на нерегульованих перетинах. У таких дослідженнях дослідники зазвичай порівнюють різні моделі, алгоритми чи методики з урахуванням точності прогнозів чи ефективності обчислень.

5. Вплив факторів довкілля. Дослідження можуть також розглядати вплив різних факторів довкілля на затримки автомобілів на нерегульованих перетинах, таких як пішоходи, велосипедисти або місцеві особливості доріг.

Узагальнюючи результатами аналізу наукових публікацій щодо тематики дипломної роботи, можна відзначити, що проблема оцінки

затримок на нерегульованих перетинах є актуальним та складним завданням у галузі автомобільного транспорту. Дослідження в цій галузі включають використання моделювання та симуляції, аналіз даних реальних спостережень, застосування штучного інтелекту та машинного навчання, порівняльний аналіз різних методів та вивчення впливу навколишнього середовища. Моделювання та симуляція є поширеними методами для оцінки затримок. Проте, точність моделей залежить від якості вихідних даних та правильного вибору параметрів моделі [9]. Аналіз даних реальних спостережень може надати більш точні результати, але потребує спеціальних методів збирання та аналізу даних. Застосування штучного інтелекту та машинного навчання надає нові можливості для аналізу даних та прогнозування затримок на нерегульованих перетинах. Порівняльні аналізи різних методів можуть допомогти визначити найбільш ефективні підходи та моделі для оцінки затримок на нерегульованих перетинах [10]. Вплив довкілля, таких як пішоходи, велосипедисти або різні типи доріг, також має значний вплив на затримки автомобілів на нерегульованих перетинах.

Загалом, подальші дослідження в цій галузі вимагають покращення методів оцінки, стандартизації даних та розробки більш точних моделей для оцінки затримок автомобілів на нерегульованих перетинах. Це допоможе знизити затримки та підвищити ефективність дорожнього руху, особливо в умовах високої щільності транспорту у міських районах.

1.2 Аналіз різних підходів до визначення затримки транспортного засобу на перетинанні

Поняття «затримка транспортного засобу на перетинанні», що зустрічаються в роботах різних авторів, можуть відрізнятися за визначенням, але зазвичай означає кількість часу, який транспортний засіб витрачає на очікування на перехресті, перш ніж він зможе проїхати через нього або перетнути його. На цю затримку впливають різні фактори, такі як

інтенсивність трафіку, параметри регулювання, тривалість фаз світлофорних сигналів, геометричні параметри перетинання, реалізовані на перехресті.

Серед численних джерел та результатів досліджень, проведених дослідниками та вченими в галузі автомобільного транспорту та організації дорожнього руху, які визначили та проаналізували затримки транспортних засобів на перехрестях, можна визначити кілька найбільш авторитетних:

1. Вебстер Ф.В. та Cobbe, В.М. (1969): У своїй основоположній роботі під назвою «Сигнали світлофора: аналіз і проектування» Вебстер і Коббе визначають затримку транспортного засобу як загальний час, виражений у секундах, який транспортний засіб проводить у черзі, чекаючи перетину або проїзду перехрестя.

2. HCM (Highway Capacity Manual): Посібник з пропускнуої спроможності автомагістралей є загальновизнаним посібником з транспортної техніки, опублікованим Дослідницькою радою національних академій з питань транспорту (TRB). У ньому містяться вказівки щодо оцінки експлуатаційних характеристик різних транспортних вузлів, у тому числі перехресть. HCM визначає затримку транспортного засобу як суму часу в черзі (час очікування в черзі) та часу обслуговування (час фактичного проходження перехрестя).

3. Акчелік Р. (2000): У своїй статті під назвою «Теорія транспортного потоку та методи аналізу перехресть» автор розглядає різні методи оцінки затримки транспортних засобів на перехрестях. Він визначає затримку транспортного засобу як середній час очікування всіх транспортних засобів на перехресті протягом визначеного періоду. Автор наголошує на необхідності враховувати стохастичний характер транспортного потоку під час аналізу затримки транспортного засобу.

Ще можна знайти багато авторів і публікацій, які зробили внесок у розуміння та визначення затримки транспортних засобів на перетинаннях. Сфера організації дорожнього руху продовжує розвиватися, і дослідники регулярно переглядають та вдосконалюють методології, що

використовуються для вимірювання та аналізу затримок транспортних засобів.

1.3 Аналіз аналітичних залежностей для визначення затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях

Оскільки на нерегульованому перетинанні транспортні потоки взаємодіють на одному рівні, щоб забезпечити безпеку, встановлюється певний порядок проїзду на таких перетинах. Усі напрямки діляться на головні і другорядні, а потоки, що рухаються за ними, відповідно, на основний і другорядний. Перевага надається основному потоку. Такий поділ має бути узгоджений з планувальними рішеннями перетинання: головний напрям має ширшу ділянку дороги, знаки та смуги розташовані на другорядних вулицях.

Усі маневри на перехресті (злиття, перетин основного потоку, лівий поворот) з другорядного напрямку можливі лише за наявності достатньо великого розриву в основному потоці. Розмір розриву залежить від типу маневру, виду транспортного засобу та планувального рішення перетину. Теоретичний розрахунок необхідного розриву (інтервалу) між автомобілями основного потоку проводиться, враховуючи вирівнювання швидкостей при злитті та додатковий час для наближення до найближчого автомобіля основного потоку при перетині. Відповідні залежності відображають загальну ідею про необхідний розмір інтервалу. Реальні значення визначаються шляхом спостережень на реальних дорогах.

Через нерівномірний розподіл інтервалів в основному потоці, автомобіль, що підійшов до перетину з другорядного напрямку, на даний момент може або чекати на достатній розрив, або, якщо розрив достатньо великий, перетнути основний потік.

Один і той же інтервал, прийнятий одним водієм, може бути відкинутий іншим, який визнає його недостатньо безпечним. Порівняння

прийнятих і знехтуваних інтервалів дозволяє визначити граничний проміжок часу $\Delta t_{\text{гр}}$, під яким розуміється такий інтервал між автомобілями основного потоку, який із заданою ймовірністю може бути прийнятий водієм для виконання маневру на перетині (рис 1). Найменше значення граничного проміжку визначається з умови, що він з однаковою ймовірністю буде прийнятий або відхилений водіями. Це означає, що інтервал такої тривалості задовольняє тільки 50% водіїв. Для практичних розрахунків використовують граничний проміжок 85%-ної забезпеченості.

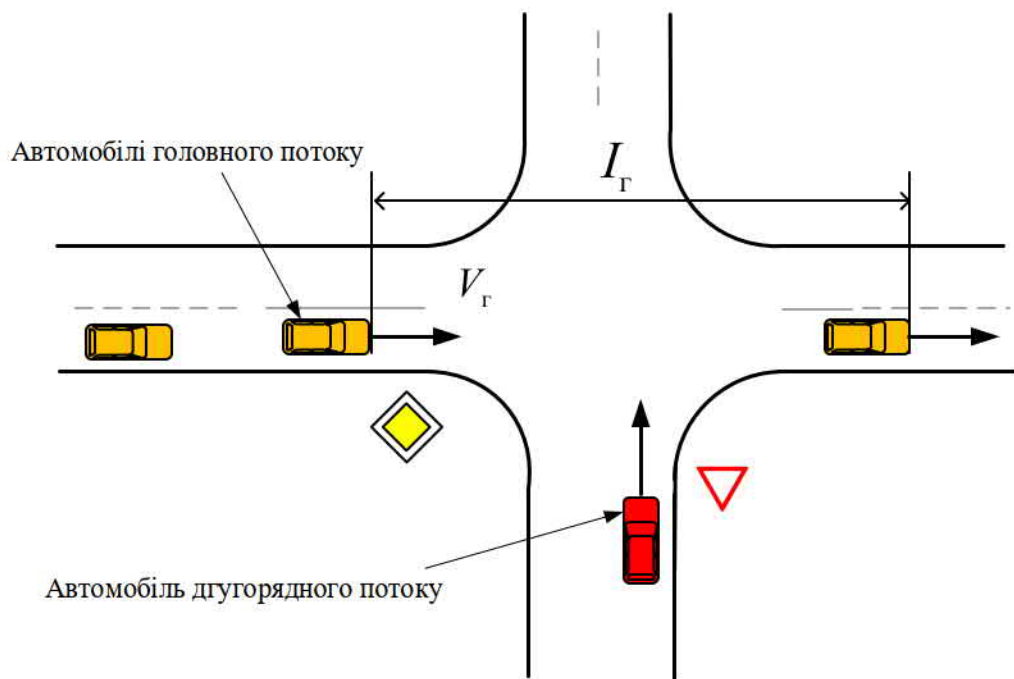


Рисунок 1.1 – Схема проїзду автомобілем другорядного напрямку нерегульованого перетинання

Затримки руху є показником, на який повинна бути звернена особлива увага при оцінці стану дорожнього руху. До затримок слід відносити втрати часу не тільки на всі змушені зупинки транспортних засобів перед перехрестями, залізничними переїздами, при заторах на перегонах, але також через зниження швидкості транспортного потоку в порівнянні зі сформованою середньою швидкістю вільного руху на даній ділянці дороги.

Таким чином, загальною залежністю для визначення затримки руху при проїзді перетинання буде вираз:

$$t_{\Delta} = \int_{l_1}^{l_n} \left[\frac{1}{V_{\phi}(l)} - \frac{1}{V_p(l)} \right] dl, \quad (1.1)$$

де $V_{\phi}(l)$, $V_p(l)$ - відповідно фактична і прийнята розрахункова (або оптимальна) швидкості руху, м/с;

dl - елементарний відрізок дороги, м.

В якості розрахункової швидкості для міської магістралі можна прийняти дозовану Правилами дорожнього руху межу швидкості (наприклад 50 км/год). Для визначення затримки у якості розрахункової швидкості також можуть бути прийняті нормативна швидкість сполучення або нормативна швидкість руху для даного типу дороги, якщо такі будуть встановлені.

На основі визначення затримок руху можна отримати загальні втрати часу для транспортного потоку, год :

$$T_{\Delta} = N_a \cdot t_{\Delta} \cdot T, \quad (1.2)$$

де t_{Δ} - середня сумарна затримка одного автомобіля, с;

T - тривалість спостереження, ч.

Затримки руху транспортного потоку - це втрати транспортного часу при проходженні транспортним засобом ділянки дороги зі швидкістю повідомлення нижче оптимальної.

Є прийнятні інтервали, і є неприйнятні інтервали. В діапазоні мінімальних значень прийнятних інтервалів знаходиться граничний інтервал часу $\Delta t_{\text{гр}}$. Він визначається з умови, що він з однаковою ймовірністю може бути прийняти або відхилений водіями .

Затримки на перетинах обумовлені необхідністю пропуску транспортних засобів і пішоходів по перехресним напрямкам на нерегульованих перехрестях, а на регульованих - простоями при забороняючих сигналах світлофорів. За даними досліджень при перетині 2-х смугової дороги $\Delta t_{\text{гр}} = 6-8$ сек, при лівому $\Delta t_{\text{гр}} = 10-13$ сек, при правому повороті $\Delta t_{\text{гр}} = 4-7$ сек.

Враховуючи вплив великого числа випадкових факторів, втрати часу зазвичай оцінюють середньою затримкою одного автомобіля.

Типовою завданням при організації дорожнього руху є визначення тривалості затримок транспортних засобів на перетинах. Для вирішення завдань зниження транспортних затримок дуже актуальними є дослідження впливу на величину затримки параметрів транспортних потоків і дорожніх умов.

Для вирішення проблеми зниження затримок при дорожньому русі необхідно мати інформацію щодо характеристик транспортних та пішохідних потоків, а також геометричні параметри ділянки дороги. Оскільки отримання реальних даних пов'язано із трудомісткими спостереженнями, які до того ж будуть достовірними лише для конкретної ділянки дороги, на практиці часто використовують моделювання транспортних та пішохідних потоків.

Відомі і знайшли практичне застосування в організації дорожнього руху математичні моделі можна розділити на дві групи в залежності від підходу: детерміновані та імовірнісні (стохастичні).

До детермінованим відносяться моделі, в основі яких лежить функціональна залежність між окремими показниками, наприклад, швидкістю і дистанцією між автомобілями в потоці. При цьому приймається, що всі автомобілі віддалені один від одного на однакову відстань. Стохастичні моделі відрізняються більшою об'єктивністю. У них транспортний потік розглядається як імовірнісний (випадковий) процес.

Наприклад, розподіл часових інтервалів між автомобілями в потоці може прийматися не строго визначеним, а випадковим.

Стохастичні моделі. Для вирішення деяких завдань організації дорожнього руху необхідно розташовувати стохастичними характеристиками параметрів транспортних потоків у зоні перехресть або на інших контрольованих ділянках доріг.

Для оцінки витрат від затримки транспортного потоку в країнах ЄС на початку використовувалися методики, розроблені в Сполучених Штатах, з урахуванням подальшого збільшення вартості проїзду та різного впливу наслідків затримок в періоди з найбільшою інтенсивністю транспортного потоку.

Різні джерела та автори наводять різні значення середньої вартості затримки руху [7,8]. В середньому цей показник в країнах ЄС на даний момент варіюється від 50 до 250 євро за годину, що становить в середньому до 150 євро за годину в середньому. Витрати на затримку вищі в разі виникнення затримок на дорогах та вулицях магістрального значення, особливо при виникненні заторів, оскільки їх ліквідація потребує більше часу, ніж потрібно для відновлення нормального режиму руху при наявності розвиненої ВДМ.

Складова суцільних витрат від затримок дорожнього руху на перехресті може бути розрахована через середню вартість затримки окремих транспортних засобів:

$$C_z = \sum_{i=1}^n \overline{B_{zi}} \cdot n_{\text{дтп}i}, \quad (1.3)$$

де $\overline{B_{zi}}$ - середня вартість затримки від i -го виду транспортного засобу, грн;

$n_{\text{дтп}i}$ - загальна кількість транспортних засобів i -го виду в транспортному потоці.

Для оцінки середньої вартості затримки дорожнього руху можна запропонувати спрощену методику. Вартість затримки дорожнього руху на окремому перехресті може бути визначена за формулою:

$$B_3 = t_{3i} \cdot N_{\Pi} \cdot C_{np} , \quad (1.4)$$

де t_{3i} - середня затримка транспортного засобу при проїзді зони перехрестя, год;

N_{Π} - інтенсивність транспортного потоку на ділянці, авт./год;

C_{np} - приведена вартість втраченого часу транспортним засобом, грн./авт.

Час, що витрачається транспортними засобами під час руху через зону перехрестя може бути умовно представлений як сума складових:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{рух}} + T_{\text{рег}} , \quad (1.5)$$

де $T_{\text{рух}}$ - час, втрачений безпосередньо на рух, тобто на подолання елемента дороги за умови відсутності будь-яких перешкод з боку інших учасників дорожнього руху, год;

$T_{\text{рег}}$ - час, втрачений через регулювання дорожнього руху на ділянці дороги (зупинка на забороняючий сигнал світлофора чи надання переваги в русі іншим його учасникам), год.

Перша складова загальної затримки буде залежати головним чином від геометрії перетину, дорожніх умов, наявності додаткових перешкод для руху. Вона не може досягти нульового значення перш за все через умови забезпечення безпеки руху, оскільки при русі із встановленою швидкістю подолання будь-якої ділянки дороги вимагає певних витрат часу.

Друга складова визначається виключно характеристиками регулювання дорожнього руху на даній ділянці дороги, наявності інших

учасників дорожнього руху, параметрами транспортних та пішохідних потоків. Теоретично, ця складова загальних витрат часу може бути зведена до нуля за умов повністю безконфліктного та безперешкодного руху транспортного засобу ділянкою.

1.4 Висновки по розділу 1

Одним з основних критеріїв, що визначають якість організації дорожнього руху виступає транспортна затримка. Зазвичай під цим поняттям розуміють втрату транспортного часу, яка виникає при проїзді транспортного засобу через ділянку дороги зі швидкістю, меншою за розрахункову.

Основним джерелом заторів на міських дорогах є перетинання в одному рівні. В цілому можна відзначити, що дослідження нерегульованих перехресть було дещо занедбано порівняно з регульованими об'єктами.

На основі аналізу літературних джерел можна відзначити, що подальші дослідження в цій галузі вимагають покращення методів оцінки, стандартизації даних та розробки більш точних моделей для оцінки затримок автомобілів на нерегульованих перетинах. Тому в наступному розділі дипломної роботи доцільно розглянути питання аналізу методів оцінки затримки транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАТРИМКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПЕРЕТИНАННІ

2.1 Аналіз моделей руху транспортного потоку через нерегульоване перехрестя

Перетину, які утворюють міські вулиці за характером організації руху поділяють на дві групи: перетинання в одному рівні і перетину в різних рівнях. Останні називають транспортними розв'язками. За планувального вирішення перетину в одному рівні ділять на прості, що не мають направляючих споруд та організують рух планувальних елементів, і каналізоване, в плануванні яких є спеціальні островці, які виділяють спеціальні смуги на проїжджій частині для організації повертає руху. Такі смуги, якщо вони повністю ізольовані від основного руху, по аналогії з транспортними розв'язками називають з'їздами [11].

Найбільш зручними для організації руху є перетину двох вулиць під кутом, близьким до прямого. При цьому повертають потоки можуть рухатися по оптимальним траєкторіям, а пішохідні переходи можна розташовувати по найкоротших напрямках.

Перетину під кутами менш 60° ускладнюють рух повертають потоків, особливо навколо гострокутних кварталів. Виникають труднощі з пішохідними переходами: при розташуванні їх на продовженні тротуарів довжина їх збільшується; при розташуванні по найкоротшому напрямку доводиться відносити їх від перетину вглиб вулиці, що призводить до порушення дисципліни пішохідного руху [11].

Термін «пропускна здатність перетину» розуміють в дещо іншому сенсі, ніж по відношенню досмузі руху. Транспортні потоки повинні проходити через одну і ту ж конфліктну точку почерги. Перевага має потік, що рухався по головній дорозі. Перетин або вливання в нього зібоку

другорядної дороги (напрямки) можливо лише при досить великих інтервалах між автомобілями основного потоку.

Теоретична пропускна здатність нерегульованого перетину - це максимальна інтенсивність другорядного напрямку (при конкретній інтенсивності головного напрямку), яка може бути досягнута при ідеальних умовах руху на пересічних дорогах і на перетині і при повному використанні всіх інтервалів в основному потоці. Остання умова здійснимо лише при постійній наявності на другорядному напрямку черги автомобілів в кількості, достатній для заповнення будь-якого інтервалу в основному потоці.

Можлива пропускна здатність нерегульованого перетину - це реальна інтенсивність руху другорядного напрямку (при конкретній інтенсивності головного напрямку) з урахуванням реальних умов руху на пересічних дорогах і на перетині при повному використанні всіх інтервалів в основному потоці. Для досягнення можливої пропускної здатності також необхідна наявність постійної черги чекають автомобілів на другорядному напрямку досить великої довжини.

Практична пропускна здатність нерегульованих перехресть - це максимальна інтенсивність руху другорядного напрямку (при конкретній інтенсивності головного напрямку) з урахуванням реальних дорожніх умов, складу транспортного потоку і практичного (не завжди повного) використання інтервалів в основному потоці. При цьому можуть спостерігатися черзі на другорядному напрямку, але не постійні, як при теоретичній або можливої пропускної здатності, і меншою

Відомі і знайшли практичне застосування в організації дорожнього руху математичні моделі можна розділити на дві групи в залежності від підходу: детерміновані та імовірнісні (стохастичні).

Детерміновані моделі. Найпростішою математичною моделлю, що описує потік автомобілів, є так звана спрощена динамічна модель. Її застосовують для визначення максимально можливої інтенсивності руху по одній смузі дороги $N_{a\max}$ при швидкості V_a :

$$N_{a \max} = \frac{A \cdot V_a}{L_d}, \quad (2.1)$$

де A – коефіцієнт розмірності.

При вимірюванні швидкості в кілометрах в годину, а динамічного габариту в метрах формула (2.2) є виразом для визначення пропускної здатності смуги:

$$P_1 = \frac{1000 \cdot V_a}{L_d}, \quad (2.2)$$

Дана математична модель складена на підставі двох спрощень: швидкість всіх транспортних одиниць у потоці однакова; транспортні засоби однотипні, тобто мають рівні динамічні габарити. Динамічний габарит L_d транспортного засобу визначають як суму довжини транспортного засобу l_a , дистанції безпеки d і зазору l_0 до попереду зупиненого автомобіля. Зазор l_0 для легкових автомобілів коливається в межах 1 – 3 м.

В результаті вивчення транспортних потоків високої щільності і спеціальних експериментів, проведених американськими фахівцями, була запропонована теорія "прямування за лідером", математичним виразом якої є мікроскопічна модель транспортного потоку. Мікроскопічної її називають тому, що вона розглядає елемент потоку – пару наступних друг за іншому автомобілів. Особливістю цієї моделі є те, що в ній відображені закономірності комплексу ВАДС і, зокрема, психологічний аспект управління автомобілями. Він полягає в тому, що при русі в щільному транспортному потоці дії водія обумовлені змінами швидкості лідируючого (провідного) автомобіля і дистанції до нього в даний момент.

До моделей, що розглядає потік в цілому і називаються макроскопічними, відносять, наприклад, моделі гідродинамічної теорії. Найбільш відомі дві з них, що засновані на використанні аналогії в поведінці транспортного потоку і потоку рідини. Перша заснована на рівнянні нерозривності, яке обумовлює сталість кількості рідини при її протіканні по водостоку, і в позначеннях, прийнятих для транспортного потоку, у результаті перетворень і спрощень характеризується залежністю:

$$N_a = V_a \cdot q_a \cdot \ln \frac{q_{a\max}}{q_a}, \quad (2.3)$$

де V_a – швидкість, що підлягає експериментальному визначенню;

$q_{a\max}$ – щільність транспортного потоку при заторі ($V_a = 0$).

Друга гідродинамічна модель використовує відоме з гідравліки поняття про потенціал тиску рідини і передбачає, що рух автомобіля виражається у вигляді функції деякого потенціалу тиску, що залежить від дорожніх умов, стану навколишнього середовища і психофізіологічного стану водія.

Стохастичні моделі. Для вирішення деяких завдань організації дорожнього руху необхідно розташовувати стохастичними характеристиками параметрів транспортних потоків у зоні перехресть або на інших контрольованих ділянках доріг. Дослідженнями встановлено, що для опису потоків порівняно Рисої інтенсивності, що характеризує ймовірність проїзду певного числа транспортних засобів через перетин дороги, застосовується рівняння (розподіл) Пуассона

$$P_i(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.4)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність проїзду n -го числа автомобілів за час t ;

λ – основний параметр розподілу (інтенсивність транспортного потоку), авт.с/год;

t – тривалість відрізків спостереження, с;

n – число спостережуваних автомобілів.

Практично для цілей управління рухом більше необхідно розташовувати даними про характер розподілу часових інтервалів між наступними один за одним транспортними засобами. Якщо поява автомобілів характеризується розподілом (2.4), то інтервали між автомобілями розподілені за експоненціальним законом.

$$F(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2.5)$$

де $F(t)$ – щільність розподілу.

Слід зауважити, що у транспортному потоці фізично неможливо поява інтервалів, менших, ніж відповідні довжині типового транспортного засобу (наприклад, 4–5 м для потоку легкових автомобілів). Тому більш правильним для опису розподілу часових інтервалів виявляється використання моделі зміщеного експоненціального закону [5]:

$$F(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot (t - \Delta t)}. \quad (2.6)$$

У транспортному потоці автомобілі рухаються з різними тимчасовими інтервалами t , між автомобілями. Рух потоку відображає середній інтервал t_{cp} знаходимо. Середній інтервал t_{cp} знаходимо пов'язаний з інтервалами t_i і інтенсивністю потоку λ , авт/год формулами:

$$t_{cp} = \sum t_i \cdot n \quad (2.7)$$

$$\lambda = \frac{3600}{t_{cp}}, \quad (2.8)$$

де n – число вимірів.

Число n автомобілів, що проходять через перетин дороги за час τ , с, залежить від інтенсивності руху: $n = \tau/t_{cp}$ знаходимо. Параметри потоку n і t є випадковими величинами. Розподілу їх значень описуються законами, розробленими в теорії ймовірності.

Однак не існує універсальних законів, описують розподіл з прийнятою точністю при різній інтенсивності λ . Тому при вирішенні практичних завдань ОДР використовують різні закони, а також їх комбінації.

Розподіл Пуассона часто застосовується в практиці. Закон Пуассона описує ймовірність p n проходження автомобілів через перетин дороги за час вимірювання τ . Функція розподілу $p(n)$ виражається формулою [7]:

$$p(n) = e^{-\lambda \cdot \tau} \cdot \frac{(\lambda \cdot \tau)^n}{n!}. \quad (2.9)$$

У формулу підставляють цілі числа n і розраховують ймовірність p . Розмірність часу вимірювання призводять до годинника. Зазначенням n знаходять інтервали $t = \tau/n$ і отримують функцію $p(n)$ розподілу часових інтервалів t .

Обчислюють інтеграли функції $p(n)$ для різних значень інтервалу τ і отримують функцію $s(t)$ накопиченої ймовірності s . Функція $s(t)$ описує ймовірність проходження через перетин дороги автомобілів, що рухаються з інтервалами менше або дорівнює τ . Розподіл Пуассона справедливо при невеликих інтенсивностей руху λ до 100 авт/год (по одній смузі).

$$p = e^{-\mu \cdot \lambda \cdot \tau} \cdot \frac{(\mu \cdot \lambda \cdot \tau)^n}{n!}. \quad (2.10)$$

Для розширення області застосування закону застосовують поправку $\mu \approx 0,5 \dots 1,5$. Значення μ задає зміщення функції в бік великих ($\mu < 1$) або менших ($\mu > 1$) інтервалів. Розподіл Пуассона з поправкою застосовують при інтенсивності руху до 150 авт/год (по одній смузі). Законом Пуассона можна висловити розподіл інтервалів між автомобілями для потоку інтенсивністю 190 авт/год, що є сумою двох потоків. Автомобілі рухаються з великими інтервалами t , і на процес злиття потоків не накладаються обмеження.

Основні недоліки мережі автомобільних доріг, які відбиваються на роботі автомобільного транспорту - недостатня її протяжність, нерівномірне розміщення, а також недостатньо задоволені транспортно-експлуатаційні показники. Однак перераховані недоліки відображають лише якісну сторону питання. Ефективне вирішення проблеми потребує чисельного вираження вимог автомобільного транспорту: скільки і в які терміни потрібно побудувати або реконструювати дороги, де їх потрібно будувати і які повинні бути їх транспортно-експлуатаційні показники.

Всі моделі транспортних потоків можна розбити на три класи: моделі-аналоги, моделі слідування за лідером і імовірнісні моделі. В моделях - аналогах рух транспортних засобів уподібнюється якогось фізичного потоку (гідро - і газодинамічні моделі).

У моделях слідування за лідером істотно припущення про наявність зв'язку між переміщенням веденого і головного автомобіля. У міру розвитку теорії в моделях цієї групи враховувався час реакції водія, досліджувався рух на багато смугових дорогах, вивчалася стійкість руху.

В імовірнісних моделях транспортний потік розглядається як результат взаємодії транспортних засобів на елементах транспортної мережі. У зв'язку з жорстким характером обмежень мережі і масовим характером руху в

транспортному потоці складаються виразні закономірності формування черг, інтервалів завантажень по смугах дороги і т. п.

Ймовірнісні моделі найкращим чином відображають поведінки автотранспорту на дорогах. В даній статті буде розглядатися поведінка транспортного потоку на перехресті. Однією з основних задач є визначення довжини черги (величини затори на перехресті), а також час простою (відсутності автомобілів на дорозі). Проблема оцінки та прогнозування інтенсивності руху в даній роботі не розглядається. Ця проблема потребує окремого аналізу і в рамки даної статті не включено. Інтенсивність для всіх машин прийнята однаковою і рівною λ .

Потік автомобілів є найпростішим потоком однорідних подій. Тому ймовірність $p_k(t)$ настання подій за інтервал часу t виражається законом розподілу Пуассона:

$$p_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad (2.11)$$

де λ - густина або інтенсивність потоку ($\lambda > 0$).

У найпростішому випадку припустимо, що вона постійна і дорівнює деякій відомою величиною.

Це має на увазі, що відомий розподіл прийнятих інтервалів в транспортному потоці, який рухається по головному напрямку, і водії, які перетинають його, приймають або відхиляють ці інтервали відповідно до визначеного критерієм.

Початкові дослідження з використання концепції прийнятих інтервалів для визначення пропускної здатності нерегульованих перехресть були виконані Д. Андерсом (Harders, J.) в 1968 році [12]. Пізніші дослідження розширили цю методику для використання і аналізу різних проблем нерегульованих перехресть. Дана методологія використовується в «Керівництва по пропускній здатності доріг» США [11].

Другий підхід використовує теорію конфліктів, вперше введену С. Гуллер в 1972 році для регульованих перетинів. Ідея полягає в тому, щоб встановити матрицю конфліктів для кожного напрямку на перехресті і розрахувати транспортні потоки в конфліктних точках. Конфліктна матриця встановлює транспортні потоки, які взаємодіють в конфліктних точках і можуть впливати на пропускну здатність кожного з напрямків руху на перехресті.

Передбачається, що в залежності від інтенсивностей конфліктуючих потоків на затримки на перехресті впливають два основні фактори: ймовірність того, що дорога не заблокована, і ймовірність того, що інтервал в головному потоці досить великий для проїзду транспортного засобу другорядного напрямку. даний підхід широко використовується при моделюванні перехресть, кільцевих перетинів, і інших розв'язок. До недоліків зазначеного підходу можна віднести те, що він має обмежений набір можливих конфліктних ситуацій при взаємодії транспортних потоків, що обмежує можливості аналізу перетинів різної геометрії.

2.2 Аналіз моделей визначення втрат транспортного часу на перетинаннях

Сутність техніко-економічного аналізу організації дорожнього руху полягає у порівнянні річних сумарних приведених затрат, пов'язаних з рухом через перехрестя конфліктуючих транспортних потоків для випадків відсутності та наявності на одному і тому ж перехресті світлофорного регулювання [1].

На нерегульованому перехресті сумарні, приведені до одного року затрати Π_{Σ} складаються з втрат народного господарства, пов'язаних з транспортними затримками на другорядній дорозі, та збитків від ДТП.

При наявності світлофорної сигналізації сумарні затрати Π_{Σ} складаються з втрат від транспортних затримок на головній та другорядній дорогах, збитків від ДТП, а також затрат, пов'язаних з вартістю, встановленням і експлуатацією технічних засобів.

Розраховується середня затримка одного автомобіля на нерегульованому перехресті та на тому ж перехресті після встановлення світлофорів.

Сумарна затримка за рік визначається по формулам [6]:

$$T_{\Delta_n} = \frac{365 \cdot t_{\Delta_n} \cdot N_{\text{др}}}{3600 \cdot \beta}; \quad (2.12)$$

$$T_{\Delta_p} = \frac{365 \cdot t_{\Delta_p} \cdot (N_{\Gamma} + N_{\text{др}})}{3600 \cdot \beta}, \quad (2.13)$$

де T_{Δ_n} – сумарна затримка на нерегульованому перехресті, авт.-год./год.;

T_{Δ_p} – сумарна затримка на регульованому перехресті, авт.-год./год.;

t_{Δ_n} – середня затримка одного автомобіля на нерегульованому перехресті, с;

t_{Δ_p} – середня затримка одного автомобіля на регульованому перехресті, с;

N_{Γ} – максимальна інтенсивність руху в обох напрямках головної дороги, авт./год.

$N_{\text{др}}$ – максимальна інтенсивність руху в обох напрямках другорядної дороги, авт./год.

β – коефіцієнт добової нерівномірності руху (для розрахунків може прийматися рівним 0,1)

Втрати від транспортних затримок визначаються перемноженням сумарної затримки на середньозважену вартість 1 авт.-год. в гривнях. При

відсутності даних про склад транспортного потоку в формули (2.12) та (2.13) підставляється інтенсивність в приведених одиницях, а вартість 1 авт.-год. Умовно береться для легкового автомобіля [7].

$$S_n = C_{ач} \cdot T_{\Delta_n}; \quad (2.14)$$

$$S_p = C_{ач} \cdot T_{\Delta_p}, \quad (2.15)$$

де S_n – втрати від затримок на нерегульованому перехресті, грн../год.;

S_p – втрати від затримок на регульованому перехресті, грн../год.;

$C_{ач}$ – середньозважена вартість 1 авт.-год., грн..

Число та тяжкість ДТП на перехресті, що розглядається, визначаються на основі статистики ДТП за попередні 2-3 роки. Збитки від ДТП необхідно виразити в грошових одиницях, використовуючи існуючі з цього питання нормативні положення.

В. Е. Верейкін на основі порівняльного аналізу великої кількості статистичних даних по ДТП на нерегульованих та регульованих перехрестях запропонував коефіцієнт зниження втрат k_c , за допомогою якого можна визначити величину втрат від ДТП для регульованого перехрестя – P_p . Величина k_c визначається по формулі:

$$k_c = 0,001 \cdot M_0 - 0,2, \quad (2.16)$$

де M_0 – сумарна інтенсивність руху транспортних засобів на перехресті, умовно приведена на одну полосу головної дороги, од./год.

Формула (2.16) справедлива при M_0 від 200 до 1200 авт/год.

Затрати, пов'язані з встановленням і експлуатацією технічних засобів регулювання, необхідно розраховувати для кожного конкретного випадку, оскільки вони залежать від місцевих умов.

Введення СР повинно бути економічно обґрунтованим. Доцільність його введення визначається методом порівняння сумарних приведених затрат для нерегульованого ПЗ_н та регульованого ПЗ_р перехрестя.

$$ПЗ_n = S_n + P_n ; \quad (2.17)$$

$$ПЗ_p = S_p + P_p + Q, \quad (2.18)$$

де Q – загальні витрати на встановлення і експлуатацію технічних засобів регулювання, грн./год.

Введення світлофорного регулювання вважається доцільним, якщо відношення:

$$\frac{ПЗ_n}{ПЗ_p} > 1 . \quad (2.19)$$

Окрім цього існує також практичне підтвердження того, що зі зростанням інтенсивності транспортних потоків на головній дорозі пропускна спроможність другорядних напрямків зменшується і може бути меншою, ніж інтенсивність руху другорядних напрямків. У таких випадках вже необхідне застосування світлофорного регулювання.

Проте уже при наближенні $N_{др}$ до $P_{др}$ затримки вже будуть досить значними і умови переходу до світлофорного регулювання ефективніше обирати при $N_{др} < P_{др}$ [1].

При оцінці максимально можливої пропускної спроможності перехрестя може бути використаний граничний інтервал 50%-го забезпечення. З позицій безпеки руху необхідно враховувати величину $t_{гр}$ із забезпеченням 85 та навіть 100%.

Величина t_{zp} залежить від багатьох факторів та перш за все від виду маневру, який здійснює автомобіль, що виїжджає на перехрестя з другорядної дороги. По даним різноманітних досліджень при перетині двосмугової дороги величина t_{zp} знаходиться в межах 6...8 с, при здійсненні лівого повороту 10...13 с, правого повороту – 4...7 с. При зростанні кількості смуг головної дороги величина граничного інтервалу для кожного виду маневру (окрім правого повороту) збільшується на 3 с [1].

Коливання значень t_{zp} навіть для одного виду маневру вказує про вплив на його величину ряду побічних факторів. Варто також відмітити, що величини прийнятих інтервалів, а, як наслідок, і граничних, суттєво залежить від інтенсивності руху по головній дорозі та від умов руху на перехресті (видимість, стан дорожнього покриття, ступінь каналізування руху, величини радіусів поворотів при здійсненні ліво- та правоповоротних маневрів і т.д.).

Покращення умов руху сприяє зниженню t_{zp} , при цьому безпека руху не знижується. Таким чином, кращим дорожнім умовам та більш чіткій організації руху буде відповідати менший граничний інтервал, від величини якого залежить пропускна спроможність перехрестя, яка, в свою чергу, визначає момент переходу до світлофорного регулювання.

Пропускна спроможність нерегульованого перехрестя характеризується максимальною кількістю транспортних засобів, яку воно (перехрестя) може пропустити по всім напрямкам за одиницю часу (зазвичай за 1 год.). В більшості випадків пропускна спроможність перехрестя менша, ніж сума пропускних спроможностей доріг, що підходять до нього, внаслідок присутності завад, що обумовлені взаємодією конфліктуючих потоків. Кожній інтенсивності руху головної дороги відповідає певна кількість автомобілів другорядної дороги, які можуть перетнути головну. У зв'язку із цим пропускна спроможність перехрестя зазвичай розглядається у вигляді можливого співвідношення інтенсивностей руху на дорогах що перетинаються.

Враховуючи велику кількість факторів, які впливають на пропускну спроможність, її реальну величину можна визначити по даним натурних спостережень за режимом руху на перехресті. Теоретичні методи її визначення є на основі певних припущень про характер розподілу часових інтервалів між автомобілями у потоці.

При наявності достатньо безпечних проміжків часу між автомобілями, що рухаються по головній дорозі t_g , автомобілі, які їдуть по другорядній дорозі, можуть перетнути головну. Можливість перетину головної дороги визначається умовою:

$$t_2 \geq t_{cp}. \quad (2.20)$$

При достатньо великих величинах t_2 головну дорогу мажуть одночасно перетнути (і) автомобілів. В загальному вигляді це положення можна представити наступним чином:

$$t_2 = t_{cp} + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_i, \quad (2.21)$$

де $\delta_2, \delta_3, \dots, \delta_i$ – часові інтервали між автомобілями, які входять на перехрестя з другорядної дороги, с.

Як показують дані спостережень, величина δ залежить від складу потоку і змінюється у вузьких межах – від 5,3 с до 2,8 с.

Якщо керуватися середньою величиною δ і вважати її постійною, то вираз 2.9 набуде вигляду:

$$t_{gi} = t_{cp} + (i-1) \cdot \delta, \quad (2.22)$$

В умовах вільного руху на головній дорозі характер розподілу інтервалів між автомобілями по даним численних досліджень може бути

описаний наступною залежністю:

$$P_t = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2.23)$$

де P_t – вірогідність появи в потоці інтервалу більшого чи рівного t ;

t – інтервал між автомобілями, с.

λ – параметр розподілу (інтенсивність руху потоку), авт./с.

З урахуванням виразу 2.11, отримаємо:

$$P_t = e^{-\lambda \cdot (t_{zp} + (i-1) \cdot \delta)}. \quad (2.24)$$

Кількість інтервалів t_{Ti} знаходиться як добуток різниці вірогідностей появи інтервалів більших ніж t_{Ti} та $t_{T(i+1)}$, на інтенсивність руху по головній дорозі. Перемножуючи кількість однакових інтервалів на число автомобілів, які можуть на протязі одного такого інтервалу перетнути головну дорогу, і поступово сумуючи отримані добутки, можна визначити максимальну інтенсивність руху через перехрестя з другорядної дороги. Таким чином, для одного з напрямків другорядної дороги інтенсивність руху буде дорівнювати:

Формула (2.13) відповідає ідеальним умовам, коли на головній дорозі спостерігається вільний рух, а на другорядній – черги очікуючих автомобілів в кількості, достатній для заповнення будь-якого інтервалу в основному потоці, більшого $t_{гр}$. Така пропускна спроможність називається теоретичною.

2.3 Висновки по розділу 2

Загалом, затримка транспортного засобу при проїзді нерегульованого перетинання залежить від низькі факторів, включаючи інтенсивність

транспортного потоку з головного та другорядного напрямків, дорожніх умов, поведінки водія та розуміння обстановки на дорозі.

Однією з проблем великих та значних міст України є те, що їх вулично-дорожня мережа будувалася ще за радянських часів приблизно у середині 1950-х - 60-х років минулого століття. З того часу інтенсивності транспортних та пішохідних потоків значно зросли, що спричиняє ускладнення умов руху на вулично-дорожній мережі загалом, та в наслідок збільшення затримок транспортних засобів.

В наступному розділі дипломної роботи доцільно розглянути один із можливих напрямків покращення якості організації дорожнього руху в великих містах України, а саме зменшення затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях шляхом удосконалення геометрії перетинань. У роботі під затримками руху ми будемо вважати втрату часу транспортними засобами при проходженні ділянки вулично-дорожньої мережі зі швидкістю, меншу за можливу при більш сприятливих умовах.

3 ОЦІНКА ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА НЕРЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕТИНАННІ

3.1 Аналітичне визначення затримки на нерегульованому перетинанні

Тривалість затримки транспортного засобу на перехресті знаходить широке використання як критерій оптимізації організації дорожнього руху. Відомо, що середня затримка має тісну залежність від показників, таких як інтенсивність руху, довжина черги, сумарна затримка і параметри режиму регулювання. Сумарна затримка означає затримку всіх транспортних засобів протягом певного періоду в певній вулично-дорожній ділянці [11]. Вона використовується як критерій якості управління рухом і корелює з довжиною черги, середньою затримкою і інтенсивністю руху. Сумарна затримка більш підходить для оцінки ефективності вулично-дорожньої мережі або міського району, ніж середня затримка, яка більше характеризує якість обслуговування окремих транспортних засобів. Максимальна затримка вважається найбільшою затримкою одного з транспортних засобів протягом певного періоду. Вона тісно пов'язана з величиною вхідного потоку на перехресті і довжиною черги на підході до перехрестя. Тривалість максимальної затримки може використовуватися для оцінки великої навантаженості перехрестя, але методика її визначення складніша, ніж для інших видів затримок. Тому вона переважно розглядається як дескриптор.

Слід зазначити, що на відміну від магістральних вулиць і доріг для вулиць і доріг з двосмуговими проїзними частинами пропонується використовувати частку часу, при якій здійснюється рух в режимі проходження за по переду їдучим транспортним засобом (тобто коли водій змушений знижувати швидкість і не може здійснити обгін). Таким чином, категорії вулиць і доріг (багатосмугові дороги безперервного руху, вулиці і дороги не регульованим рухом, двосмугової проїжджі частини місцевих

вулиць і доріг) про відповідним критеріям, що демонструє гнучкість системи показників рівнів обслуговування.

На нерегульованих перетинаннях рух характеризується затримками, зниженням швидкості руху другорядних напрямків і т.д. Тому в разі нерегульованих перетинів пропонується використовувати різні показники градації рівнів обслуговування для нерегульованих перетинів. Відповідність затримки руху до рівня обслуговування наведено в таблиці 3.1 [11].

Таблиця 3.1 - Градація рівня обслуговування нерегульованих перехресть

Рівень обслуговування	Величина середньої затримки, с	Доля авто які знизили швидкість, %	Доля авто які зупинились, %
A	<10	<60	<40
B	<30	<70	<60
C	<40	<80	<70
D	<60	<80	<75
E	>60	>85	>75

Рівень А - Більшість водіїв безперешкодно проїжджають перехрестя без затримок. Затримка дуже мала.

Рівень В - Вплив головних потоків на рух другорядних потоків стає помітним, але затримка ще не значна.

Рівень С - Водії в другорядних потоках змушені пропускати багато транспортних засобів у головному потоці. Затримка значно зростає, але черга на підході до перехрестя ще не стає серйозною проблемою з точки зору простору і часу.

Рівень D - Багато водіїв змушені робити тривалі зупинки підходячи до перехрестя, інколи більше одного разу. Деякі транспортні засоби зазнають великих затримок, але ситуація ще стабільна, незважаючи на довжину черги.

Рівень Е - Сталося утворення черги, яка не зменшується навіть при сталій транспортній ситуації. Транспортні засоби зазнають великих затримок. Невелика зміна може призвести до затору. Пропускна спроможність вичерпана.

Рівень F - Інтенсивність прибуття транспортних засобів до перехрестя протягом тривалого часу перевищує його пропускну спроможність. Утворюється довга і постійно зростаюча черга транспортних засобів. Затримки є дуже великими. Перехрестя є перенасиченим.

Проблема забезпечення гармонійного поєднання містобудівництва і організації руху транспорту постійно ускладнюється у зв'язку з бурхливим зростанням рівня автомобілізації населення.

За останні роки автомобільний трафік у великих містах України і особливо в їх центрах значно збільшився, що спричинило перевантаження вулично-дорожньої мережі. Вичерпати всі негативні наслідки автомобілізації не можливо, тому необхідно розробляти ефективні заходи для зменшення їх негативного впливу на міське середовище. Автомобільний парк буде продовжувати зростати, навіть при зменшенні кількості населення.

Якщо розглядати рух автомобіля на перехресті в ситуації, коли немає конфліктів з іншими учасниками руху. Затримка автомобіля в такому випадку виникає через необхідність зниження швидкості при повороті, щоб забезпечити безпеку руху. Схема руху автомобіля через перехрестя та графік руху в координатах «час-відстань» наведені на рис. 3.1.

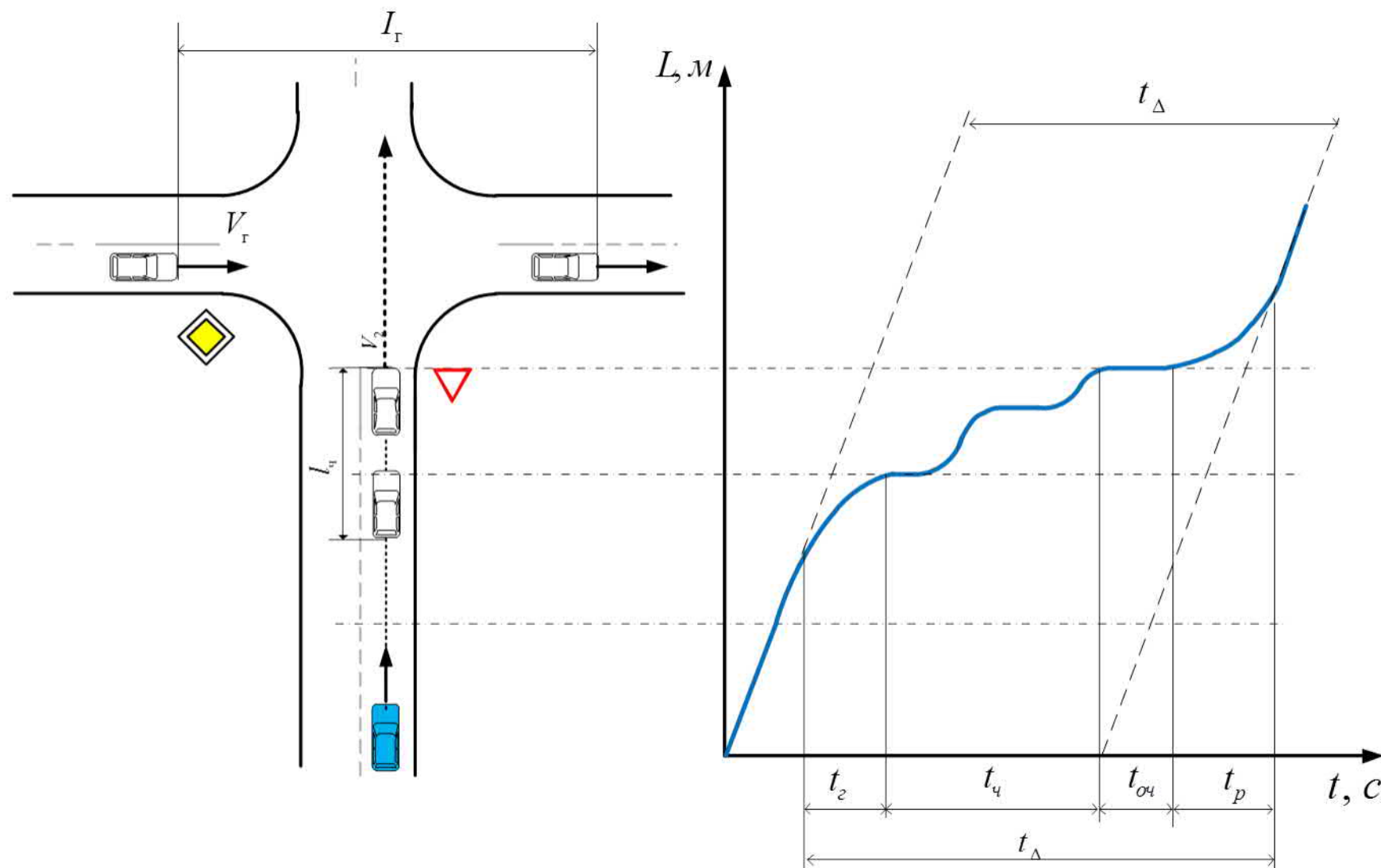


Рисунок 3.1 - Складові затримки автомобіля при проїзді нерегульованого перехрестя

Сумарна затримка транспортного засобу при проїзді нерегульованого перехрестя може бути визначена як:

$$t_{\Delta} = t_z + t_q + t_{oc} + t_p, \quad (3.1)$$

де t_z - час гальмування, с;

t_q - час перебування в черзі, с;

t_i - час очікування прийнятного інтервалу, с.

t_p - час розгону, с.

При руху автомобілів на головній дорозі з постійними уповільненнями та прискореннями, зміною швидкості та експоненційним розподілом інтервалів між ними, середня затримка автомобіля на другорядній дорозі може бути обчислена за певною формулою [4].

$$t_{\Delta} = \frac{e^{N_z \cdot t_{zp}} - N_z \cdot t_{zp} - 1}{N_z - N_{\epsilon} \left(e^{N_z \cdot t_{zp}} - N_z \cdot t_{zp} - 1 \right)} + \frac{V_a}{7,2} \left(\frac{1}{a_z} + \frac{1}{a_p} \right), \quad (3.2)$$

де N_G – інтенсивність транспортного потоку на головній дорозі в обох напрямках, авт./с;

t_{GP} – граничний інтервал, с.;

V_a – швидкість потоку на підході до перехрестя, км/год.;

a_z – уповільнення автомобіля, м/с². Прийняти $a_T = 3 \dots 4$ м/с²

a_p – прискорення автомобіля, м/с². Прийняти $a_P = 1,0 \dots 1,5$ м/с²

N_B – інтенсивність транспортного потоку на другорядній дорозі в даному напрямку, авт./с;

Параметри нерегульованого перехрестя мають великий вплив на граничний інтервал та затримку автомобіля. На рисунку 3.2 показана залежність часу очікування прийнятного інтервалу в потоці на головній дорозі від значення граничного інтервалу та інтенсивності головного потоку.

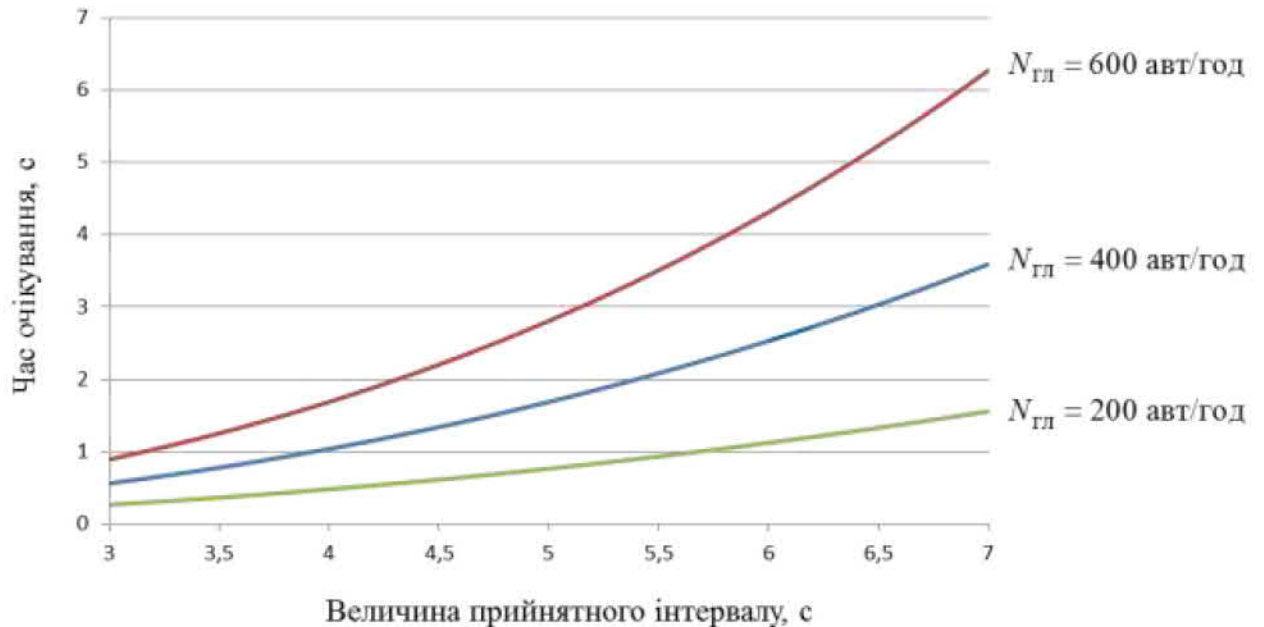


Рисунок 3.2 - Залежність часу очікування прийнятного інтервалу від величини граничного інтервалу

Середню затримку транспортних засобів ($t_{\Delta H, c}$) на нерегульованому перехресті є можливість визначити як середньозважене значення затримки для всіх напрямків руху за формулою [4]:

$$\bar{t}_{\Delta H} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\Delta H j} \cdot N_j}{N_j}, \quad (3.3)$$

де n – кількість напрямків руху (смуг руху) з другорядної дороги.

N_j – інтенсивність руху у напрямку j , авт./год.

Таки чином, можна вважати, що найбільша частина часу, яку втрачає транспортний засіб в міській дорожній мережі, відводиться на проїзд перехрестя. Час затримки під час проїзду нерегульованого перехрестя залежить від таких факторів:

- Відношення інтенсивностей транспортних потоків на головній та другорядній дорозі;
- Геометричні параметри перехрестя та інші.

У цьому дослідженні ми вирішили зосередитись на впливі геометричних параметрів перехрестя на затримку транспортного засобу, оскільки цей фактор не отримує достатньо уваги в літературі порівняно з іншими.

3.2 Визначення затримки транспортного засобу, що рухається з напрямку головної дороги

Для оцінки техніко-економічних наслідків, пов'язаних із затримками на перехресті, потрібно визначити загальні витрати часу транспортних засобів, які виникають під час проїзду через перехрестя.

Зазвичай, при розрахунку загальної затримки автомобіля під час проїзду нерегульованого перехрестя, затримки автомобілів у головному напрямку не враховуються. Однак, на практиці виявляється, що при достатньо великій інтенсивності другорядного потоку можуть виникати ситуації, коли автомобіль, який рухається по головній дорозі, також зазнає затримки. Це трапляється, коли водій автомобіля другорядного потоку помиляється при виборі безпечного інтервалу та вимушує водія на головній дорозі гальмувати під час підходу до перехрестя. Цю ситуацію ілюструє рисунок 3.3.

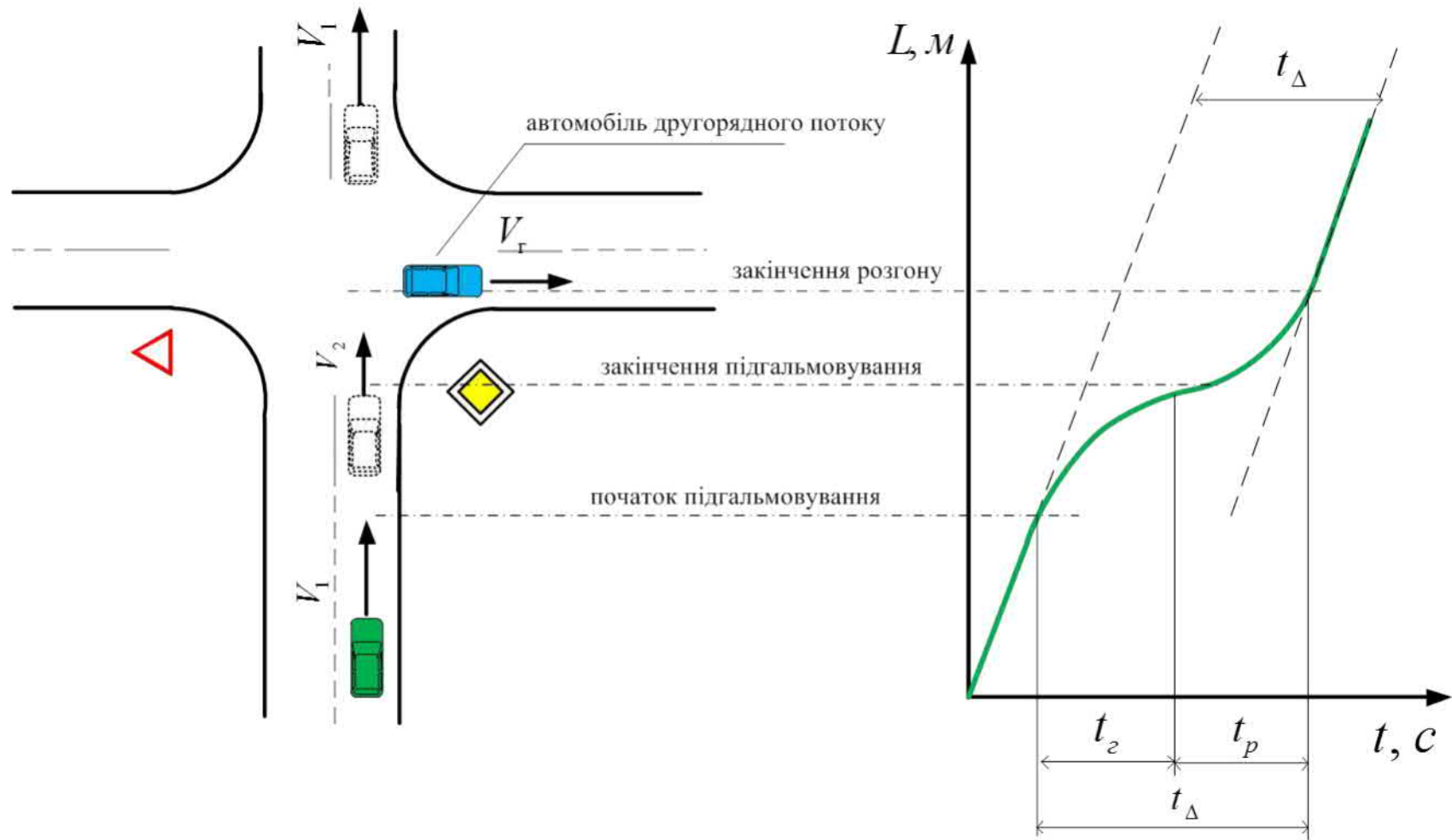


Рисунок 3.3 - Складові затримки автомобіля головного потоку при проїзді нерегульованого перехрестя

Затримка автомобіля головного напрямку, що проходить перехрестя без зупинки, в цьому разі становить:

$$t_{\Delta} = p \cdot \frac{V_1 - V_2}{2 \cdot 3,6} \cdot \left(\frac{1}{a_{nz}} \cdot \frac{1}{a_p} \right), \quad (3.4)$$

де p – ймовірність затримки на перехресті, тобто ймовірність руху автомобіля у даному режимі;

V_2 – швидкість до якої відбувається підгальмовування, км/год.;

a_{nz} – уповільнення при підгальмовуванні, м/с²;

a_p – прискорення при розгоні до швидкості, м/с².

Загальні втрати часу транспортними засобами, що зупиняються у «стоп-лінії» становлять:

$$T_{c.l.} = \bar{t}_{зуп} \cdot p \cdot N, \quad (3.5)$$

де $\bar{t}_{зуп}$ – середній час зупинки автомобіля біля «стоп-лінії», с;

N - інтенсивність транспортного потоку, авт./год.

Сумарні витрати часу усіма транспортними засобами на регульованому перехресті з урахуванням не тільки затримок у «стоп-лінії», але і зниження швидкості визначаються наступним чином:

$$T = T_1 + T_{c.l.}, \quad (3.6)$$

Мінімальний інтервал руху в кожній смузі не може бути менше інтервалу (дистанції) безпеки:

$$l_0 = V_1 \cdot t_p + \frac{V_1^2}{2 \cdot j_e} + l_3, \quad (3.7)$$

де l_0 – інтервал безпеки, м;

V_1 – швидкість руху, м/с;

t_p – час реакції водія, с;

j_e – сповільнення при екстремому гальмуванні, м/с²;

l_3 – відстань безпеки між автомобілями, що зупинилися, м.

З урахуванням втрат часу на гальмування і розгін тривалість середньої затримки на нерегульованому перехресті дорівнює:

$$t_{\Delta} = \frac{l_n}{2 \cdot V_1} + \frac{V_1}{2 \cdot a_p} + \frac{V_1}{2 \cdot a_e}. \quad (3.8)$$

Загальні втрати часу на нерегульованому перехресті в кожному напрямку:

$$T = p \cdot \left(\frac{l_n}{2 \cdot V_1} + \frac{V_1}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_{ne}} + \frac{1}{a_p} \right) \right) \cdot N_{\text{ел}}, \quad (3.9)$$

де l_n – довжина ділянки підгальмовування, м;

$N_{\text{ел}}$ – інтенсивність транспортного потоку по головній дорозі, авт./год.

Таким чином, для врахування втрат транспортного часу на нерегульованому перехресті автомобілями головного потоку необхідно мати статистичні дані про кількість водіїв другорядного потоку, що помиляються при обранні прийнятного інтервалу.

3.3 Визначення затримки транспортного засобу при безконфліктному повороті

У попередньому розділі дипломної роботи були наведені методики оцінки затримки автомобіля при приїзді нерегульованого перехрестя, пов'язані з взаємодією транспортних потоків, що рухаються по головній та другорядній дорогах. Але навіть при відсутності взаємодії потоків, тобто при безконфліктному проїзді перехрестя, автомобіль буде відчувати затримку у разі виконання маневру.

Розглянемо рух автомобіля в зоні перехрестя при повороті праворуч за відсутності будь-якого конфлікту з іншими учасниками руху. Затримка автомобіля в цьому випадку обумовлюється необхідністю зниження швидкості на повороті для забезпечення безпеки руху.

Припустимо, що швидкість руху автомобіля на прямій ділянці на підході до перехрестя дорівнює V_1 (рис. 3.4). Перед перехрестям автомобіль сповільнюється до швидкості V_2 , з якою він продовжує рух по криволінійній траєкторії безпосередньо на повороті. Довжина ділянки гальмування L_T визначатиметься від місця, де автомобіль почав гальмування до початку криволінійної ділянки на повороті. Після закінчення маневру автомобіль знову розганяється до швидкості V_1 . Довжина ділянки розгону L_P визначатиметься від кінця криволінійної ділянки до місця, де автомобіль досяг швидкості V_1 .

Загальна затримка транспортного засобу під час виконання маневру, може бути підрахована як різниця часу, що фактично витратив автомобіль на подолання ділянки дороги під час маневру t_m , та теоретичного часу на рух тією ж ділянкою без зниження швидкості (зі швидкістю V_1).

$$t_{\Delta} = t_m - t_{v1} \quad (3.10)$$

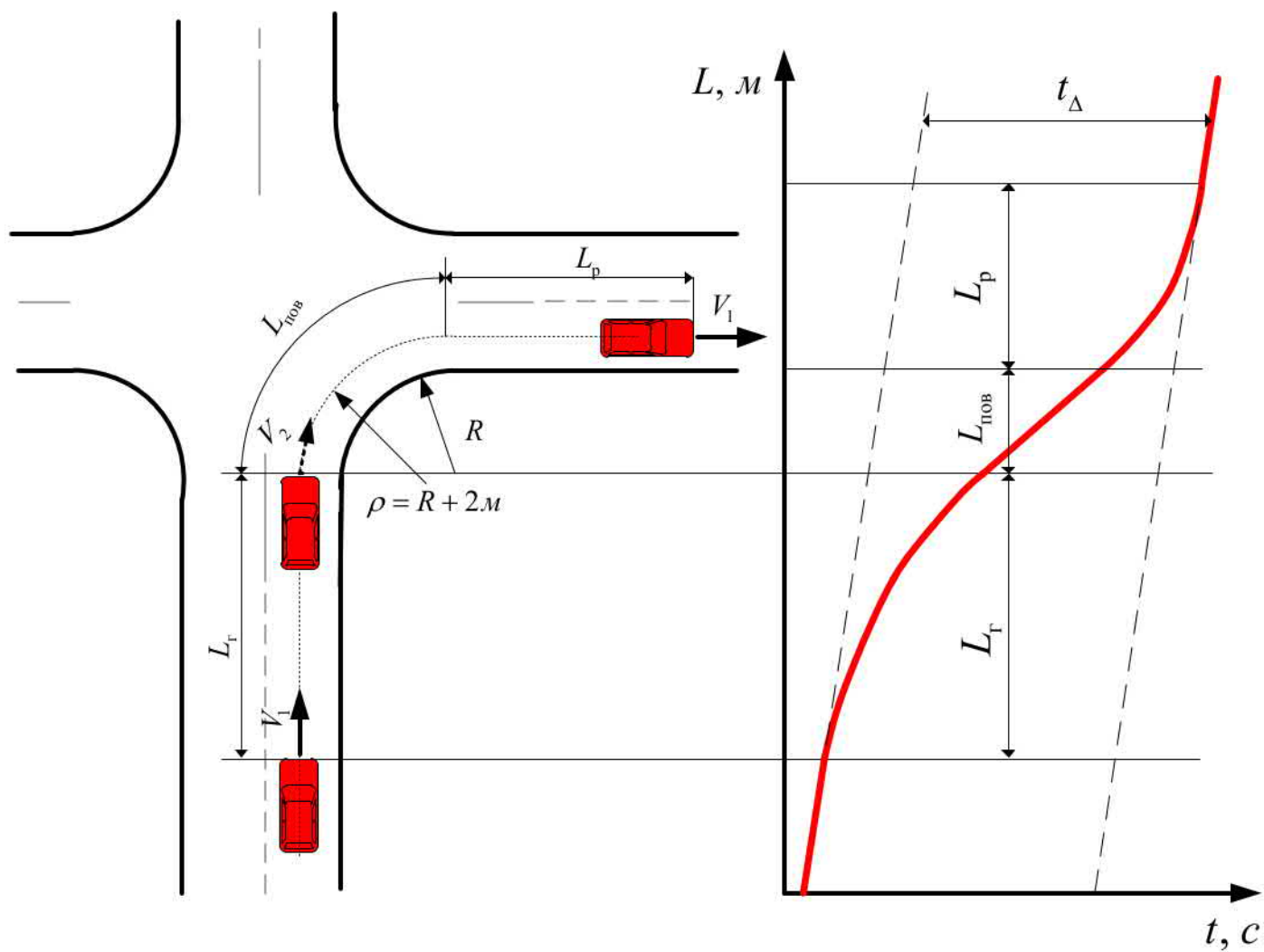


Рисунок 3.4 - Рисунок руху автомобіля на перехресті при повороті праворуч та відповідна $t-L$ діаграма

Фактична витрата часу при безконфліктному повороті може бути представлена як:

$$t_{\text{м}} = t_{\text{г}} + t_{\text{пов}} + t_{\text{р}}, \quad (3.11)$$

де $t_{\text{г}}$ - час який витрачається на гальмування;

$t_{\text{пов}}$ - час який витрачається на проходження ділянки повороту;

$t_{\text{р}}$ - час який витрачається на розгін автомобіля від V_1 до V_2 .

Якщо припустити, що гальмування перед автомобіля є рівносповільненим, то час, що втрачається на рух ділянкою сповільнення можна записати як:

$$t_{\text{г}} = \frac{V_1 - V_2}{j_{\text{г}}}, \quad (3.12)$$

де V_1 - швидкість руху автомобіля на підході до перехрестя (перед початком гальмування), м/с;

V_2 - швидкість руху автомобіля на повороті, м/с;

$j_{\text{г}}$ - сповільнення при гальмуванні автомобіля перед поворотом, м/с².

Також саме час, втрачений на розгін після завершення маневру:

$$t_{\text{р}} = \frac{V_1 - V_2}{j_{\text{р}}}, \quad (3.13)$$

де $j_{\text{р}}$ - прискорення автомобіля після проходження повороту, м/с².

Якщо припустити, що на повороті автомобіль рухається з постійною швидкістю, то:

$$t_{V1} = \frac{L_{\text{пов}}}{V_2}, \quad (3.14)$$

де $L_{\text{пов}}$ - довжина криволінійної ділянки руху автомобіля на повороті, м.

Теоретичний час на руху ділянкою з постійною швидкістю визначається як:

$$t_{V1} = \frac{L_{\text{сп}} + L_{\text{пов}} + L_{\text{пр}}}{V_1}. \quad (3.15)$$

Довжину ділянок гальмування та розгону, при припущенні про рівноприскорений (рівносповільнений) рух автомобіля, можна визначити як:

$$L_r = \frac{V_2^2 - V_1^2}{-2 \cdot j_r}; \quad (3.16)$$

$$L_p = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \cdot j_p}. \quad (3.17)$$

Сумарна затримка автомобіля при виконанні повороту також може бути представлена як сума:

$$t_{\Delta} = t_{\Delta r} + t_{\Delta \text{пов}} + t_{\Delta p}, \quad (3.18)$$

де $t_{\Delta r}$ - затримка, пов'язана з гальмуванням автомобіля перед поворотом, с;

$t_{\Delta p}$ - затримка, пов'язана з розгоном автомобіля за поворотом, с;

$t_{\Delta \text{пов}}$ - затримка, пов'язана з рухом на повороті, с.

Затримка при гальмування визначається як різниця часу гальмування t_T та часу, що втратив би автомобіль рухаючись тією ж ділянкою з постійною швидкістю V_1 :

$$t_{\Delta r} = \frac{V_1 - V_2}{j_r} - \frac{L_r}{V_1}. \quad (3.19)$$

З урахуванням 3.7, 3.8 отримаємо:

$$t_{\Delta r} = \frac{V_1 - V_2}{j_r} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{-2 \cdot j_r \cdot V_1} = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 2 \cdot V_1 - V_2^2 + V_1^2}{2 \cdot j_r \cdot V_1} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot j_r \cdot V_1}. \quad (3.20)$$

Аналогічним чином визначається затримка при розгоні:

$$t_{\Delta p} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot j_p \cdot V_1}. \quad (3.21)$$

Для ділянки руху на повороті отримаємо затримку:

$$t_{\Delta \text{пов}} = \frac{L_{\text{пов}}}{V_2} - \frac{L_{\text{пов}}}{V_1} = L_{\text{пов}} \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot V_2}. \quad (3.22)$$

Якщо прийняти, що траєкторія руху автомобіля на повороті представляє собою дугу окружності з радіусом ρ , можна записати

$$t_{\Delta \text{пов}} = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi \cdot \rho \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot V_2}, \quad (3.23)$$

де α - кут повороту на перехресті.

Таким чином, вираз для визначення сумарної затримки автомобіля при виконанні повороту може бути записаний в наступному вигляді:

$$t_{\Delta} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot j_r \cdot V_1} + \frac{\alpha \cdot \pi \cdot \rho}{180} \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot V_2} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot j_p \cdot V_1} . \quad (3.24)$$

Після перетворювань та прийнявши кут повороту на перехресті $\alpha = 90^\circ$ зможемо записати:

$$t_{\Delta} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot V_1} \cdot \left(\frac{1}{j_p} + \frac{1}{j_r} \right) + \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot V_2} . \quad (3.25)$$

Як бачимо, затримка автомобіля при безконфліктному повороті на перехресті залежить від співвідношення швидкостей руху прямою ділянкою дороги на підходах до перехрестя та криволінійною ділянкою на повороті. Тобто чим більше автомобіль знижує швидкість перед поворотом – тим більша величина затримки. Цей результат був очевидним та прогнозованим. Якщо задати значення радіусу повороту, прискорення та уповільнення автомобіля, зв'язок швидкостей руху на підходах та на повороті із величиною затримки автомобіля можна показати графічно (рис. 3.2). В розрахунках було прийнято радіус закруглення проїзної частини на перехресті $R = 15$ м, уповільнення перед перехрестям $j_r = 3 \text{ м/с}^2$ (відповідає службовому гальмуванню), прискорення після повороту $j_p = 1 \text{ м/с}^2$, швидкість руху на повороті $V_2 = 20 \text{ км/год}$ ($5,55 \text{ м/с}$). Як можна побачити, затримка зростає майже пропорційно зі збільшенням перепаду швидкостей.

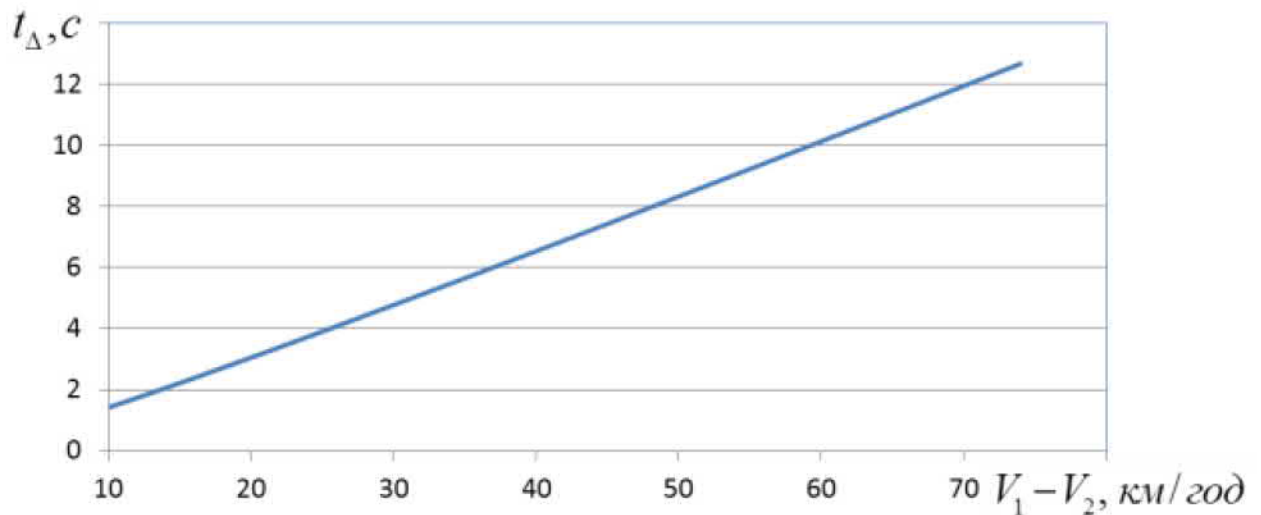


Рисунок 3.5 – Залежність затримки автомобіля при повороті праворуч на перехресті від величини зниження швидкості

Із залежності (3.15) також виходить, що збільшення радіусу повороту призводить до зростання затримки через збільшення довжини траєкторії руху на повороті. Але більш вагомим є вплив радіусу повороту на величину критичної швидкості. Відомо, що критична швидкість при русі автомобіля на повороті за умов зносу або перекидання залежить від радіусу повороту. Тому при збільшенні радіусу закруглення значно збільшиться швидкість руху на повороті V_2 , що призведе до зменшення затримки автомобіля.

Визначимо цей зв'язок через математичне співвідношення. У якості розрахункової швидкості руху автомобіля на повороті буде не вірно використовувати критичну швидкість за умов забезпечення стійкості, оскільки при повороті водій завжди обирає швидкість значно меншу від критичної (з запасом). В різних літературних джерелах розрахункову швидкість на повороті рекомендується обирати в межах $V_p = (0,5 \dots 0,85) V_{кр}$. На підставі аналізу даних про рух транспортних потоків на перехрестях професором Ю.А. Врубелем була отримана емпірична залежність, що зв'язує між собою швидкість руху автомобіля на повороті з радіусом траєкторії руху ρ :

$$V_2 = 0,33 \cdot \rho, \quad (3.26)$$

Тобто швидкість, яку обирають водії при русі криволінійною ділянкою на повороті (м/с), пропорційна її радіусу із емпіричним коефіцієнтом 0,33.

З урахуванням залежності 4.12, а також прийнявши, що радіус заокруглення дороги $R = \rho - 2$ м, можна записати вираз для сумарної затримки автомобіля при правому повороті:

$$t_{\Delta} = \frac{(V_1 - 0,33 \cdot R)^2}{2 \cdot V_1} \cdot \left(\frac{1}{j_p} + \frac{1}{j_r} \right) + \frac{\pi \cdot R}{4} \cdot \frac{V_1 - 0,33 \cdot (R + 2)}{0,33 \cdot R \cdot V_1}. \quad (3.27)$$

Тепер можна графічно проілюструвати безпосередньо вплив радіуса скругління проїзної частини перехрестя на затримку транспортного засобу при повороті праворуч (рис.4.3).

Як бачимо з графіку, при збільшенні радіусу закруглення проїзної частини на перехресті затримка поворотного автомобіля зменшується. Також очевидна майже відсутність впливу збільшення радіусу закруглення при низьких швидкостях руху на підході до перехрестя, наприклад в умовах передзаторового стану або при наявності перешкод.

Більшість перехресть в населених пунктах України мають радіуси закруглень в межах від 6 до 15 метрів. В межах цього діапазону, як видно з графіків, залежність затримки автомобіля при повороті від радіусу закруглення є майже лінійною та може бути представлена лінійним рівнянням з коефіцієнтами A_1 та A_2 :

$$t_{\Delta} = A_1 \cdot R + A_2. \quad (3.28)$$

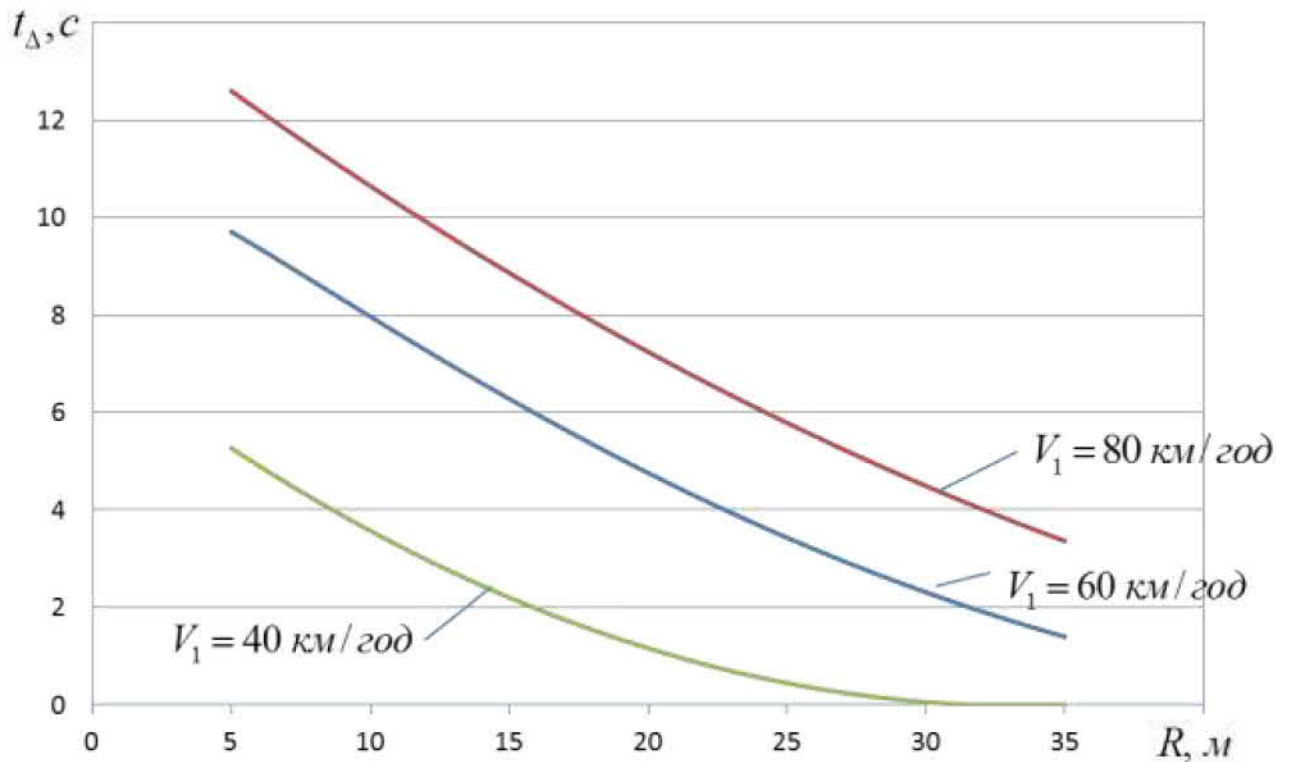


Рисунок 3.6 – Залежність затримки автомобіля при повороті праворуч на перехресті від радіусу траєкторії руху при різних швидкостях руху на підході до перехрестя

Перший коефіцієнт за результатами регресійного аналізу може бути приблизно прийнятий $A_1 = 0,3$. Тобто, збільшення радіусу закруглення на 10 метрів призводить до зменшення затримки автомобіля, що повертає, на 3 секунди.

Зі збільшенням швидкості на підході до перехрестя майже пропорційно збільшується затримка (рис. 3.3).

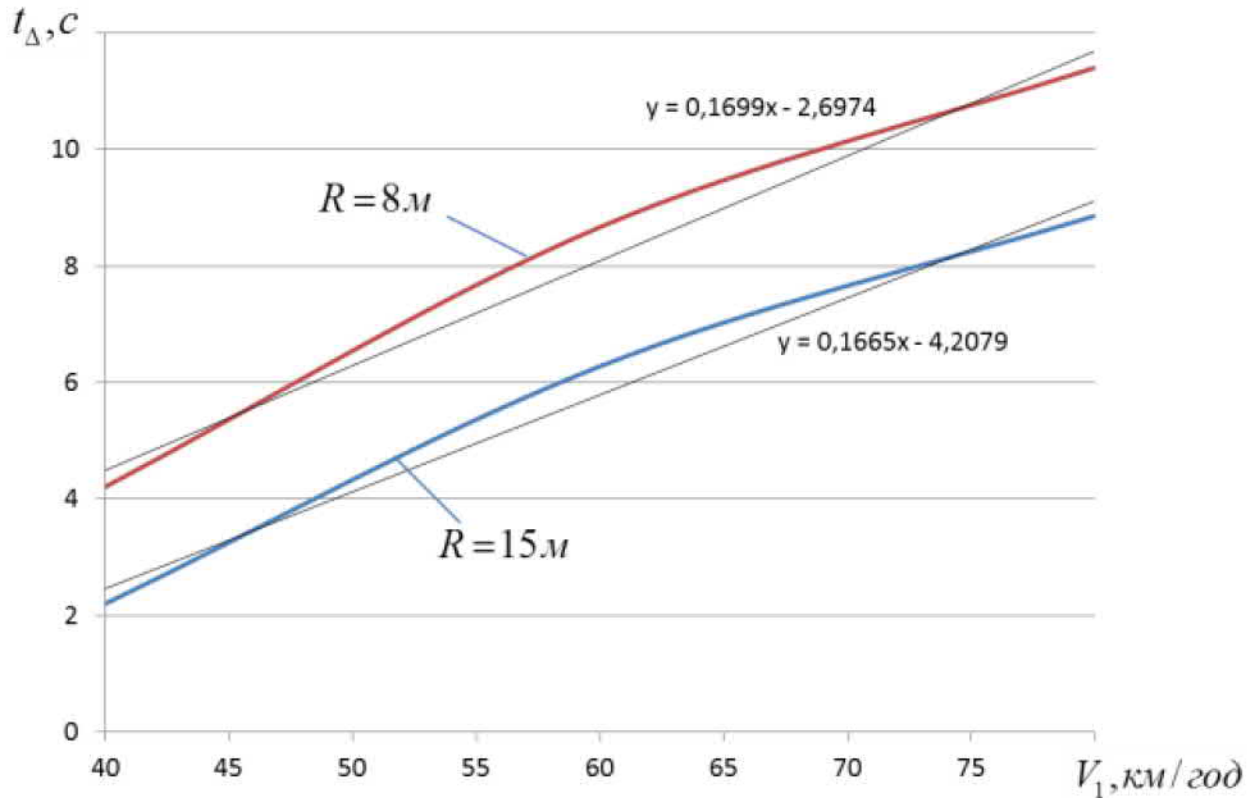


Рисунок 3.7 – Залежність затримки автомобіля при повороті праворуч від швидкості руху на підході до перехрестя

З графіку Рис. 3.4 видно, що залежність затримки від швидкості на підході до перехрестя можна прийняти лінійною з коефіцієнтом регресії $A_1 = 0,17$, який майже не залежить від величини радіусу закруглення. Тобто, збільшення швидкості руху на підході до перехрестя на 10 км/год призводить до зростання затримки автомобіля, що повертає, на $1,7$ секунди.

Таким чином, для приблизної оцінки затримки одиночного автомобіля при безконфліктному правому повороті на перехресті можна використовувати спрощену лінійну залежність:

$$t_{\Delta} = -0,3 \cdot R + 0,18 \cdot V_1, \quad (3.28)$$

де R - радіус закруглення на повороті, м;

V_1 - швидкість на підході до перехрестя, км/год.

Оскільки в розрахунках ми використовували емпіричну залежність 3.17, запропонована модель даватиме адекватний результат при виконанні умови $V_1 \geq 1,18 \cdot R$.

3.4 Висновки до розділу 3

Затримка автомобіля на нерегульованому перехресті з другорядного напрямку залежить від тривалості очікування водієм прийнятної інтервалу, тривалості перебування в черзі і величини зниження автомобілем швидкості руху, обумовленого гальмуванням перед перехрестям і подальшим розгоном. Геометричні параметри перетинання в першу чергу впливає на останню складову сумарної затримки та вони є головним фактором при здійсненні безконфліктного маневру на перетинанні.

В реальних умовах руху транспортних засобів нерегульованим перехрестям також спостерігається їх затримка в напрямку головної дороги у разі, коли водій пригальмовує через наявність перешкоди з боку автомобіля другорядного потоку. Протяжність зони гальмування і розгону, а отже і величина затримки, залежить від величини зниження швидкості автомобілем.

При здійсненні безконфліктного маневру на нерегульованому перехресті затримка автомобіля виникає через зниження швидкості при русі по криволінійній ділянці. Аналітичні залежності дозволяють проаналізувати вплив радіусу траєкторії руху транспортного засобу на нерегульованому перетинанні на величину затримки автомобіля, що здійснює маневрування. Було з'ясовано, що збільшення радіусу траєкторії руху на 5 метрів дає зниження затримки автомобіля при здійсненні маневру приблизно на 1,5 секунди.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕТИНАННЯ НА ЗАТРИМКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСБІВ

4.1 Вимоги до геометричних параметрів проїзної частини перетинань в одному рівні

Геометричні параметри нерегульованого перехрестя відіграють важливу роль в оцінці затримки автомобіля. Серед основних геометричних параметрів та характеру їх впливу можна виділити наступні:

1. Ширина дороги: Широка дорога може дозволити більше автомобілів перетинати перехрестя одночасно, що може зменшити затримку. З іншого боку, вузька дорога може обмежити потік транспорту, що спричиняє затримку.

2. Кут перетину доріг: Кут перетину доріг також може впливати на затримку. Чим менший кут, тим менша затримка, оскільки автомобілі перетинатимуть перехрестя швидше. Навпаки, більший кут може призвести до більшої затримки, оскільки автомобілі повинні чекати, щоб пройти перехрестя.

3. Наявність додаткових смуг або поворотних смуг: Додавання додаткових смуг або поворотних смуг на перехресті може покращити пропускну здатність і, отже, скоротити затримку. Це дозволяє ефективніше організувати рух транспорту.

Всі ці геометричні параметри повинні бути враховані при плануванні та будівництві перехресть, щоб оптимізувати пропускну здатність та знизити затримку автомобілів.

В попередньому розділі дипломної роботи було показано, як радіус заокруглення проїжджої частини перехрестя може впливати на загальмовування транспортних засобів і, отже, загальну затримку руху.

Заокруглення використовується для створення більш плавних переходів транспортних засобів з однієї дороги на іншу та для покращення

безпеки руху. Воно є звуженням проїжджої частини до вузької смуги перед перехрестям, яка розширюється після нього, утворюючи заокруглення. Існує кілька факторів, які можуть впливати на загальмовування транспортних засобів на таких заокруглених перехрестях. Розмір та радіус заокруглення можуть впливати на гальмування, оскільки вони визначають швидкість, з якою транспортний засіб може безпечно змінити напрямок руху. Більші і надто різко вигнуті заокруглення можуть вимагати суттєвішого уповільнення руху транспортних засобів. Стан дорожнього покриття, особливо на заокругленій частині перехрестя, може впливати на тертя між шинами та дорогою, а отже, на гальмування транспортних засобів. Якщо дорожнє покриття не забезпечує належного тертя, це може викликати ковзання і довше гальмування.

Крім того, вплив заокруглення проїзної частини перехрестя на загальмовування транспортних засобів також залежить від поведінки водіїв. Якщо водії недостатньо передбачувані у своїх діях і не дотримуються оптимальної швидкості при проїзді через заокруглене перехрестя, це також може призвести до збільшення затримки.

В цілому, аналіз впливу заокруглення проїзної частини перехрестя на величину затримки транспортних засобів є складним завданням, оскільки потребує врахування безлічі факторів, таких як розмір та радіус заокруглення, стан дорожнього покриття та поведінка водіїв. Для точної оцінки необхідно проводити ретельні дослідження та розрахунки з використанням математичних моделей та статистичних даних. Перш за все, радіус кривизни має бути достатнім для повороту найбільших транспортних засобів, які, як очікується, проїдуть перехрестя. Це вкрай важливо, щоб уникнути потенційних конфліктів або нещасних випадків. Точний розмір цих транспортних засобів може відрізнятися залежно від конкретного контексту, але зазвичай розглядаються великі транспортні засоби, такі як вантажівки чи автобуси.

Крім того, при проектуванні перехресть необхідно враховувати бажане обмеження швидкості та відповідні профілі швидкості транспортних засобів, що наближаються. Необхідно вибрати відповідний радіус кривизни, щоб забезпечити комфортні та безпечні повороти на визначених обмеженнях швидкості. Це забезпечує достатній простір для маневрування для транспортних засобів і знижує ймовірність аварій, спричинених крутими поворотами або раптовою зміною напрямку.

У Європейському Союзі правила щодо радіусів кривизни на перехрестях спрямовані в першу чергу на забезпечення безпеки та плавного руху транспорту. Ці вимоги випливають із ретельного аналізу різних факторів, включаючи динаміку автомобіля, обмеження швидкості та бажаний рівень комфорту для учасників дорожнього руху. Основними нормативними документами є:

1. «Посібник з проектування доріг і мостів» (DMRB) [16]. Цей посібник містить вказівки щодо проектування та будівництва доріг і мостів у Сполученому Королівстві. Він містить специфікації щодо радіуса кривизни на перехрестях. Ви можете знайти відповідну інформацію на веб-сайті уряду Великобританії або за допомогою пошукової системи.

2. Директива Європейського Союзу щодо управління безпекою дорожньої інфраструктури [17]. Ця директива, також відома як Директива 2008/96/EC, визначає різні вимоги до управління безпекою дорожнього руху, включаючи проектування та обслуговування дорожньої інфраструктури. У ньому можуть міститися посилання або вказівки щодо радіуса кривизни на перехрестях.

DMRB визначає наступні вимоги до радіуса кривизни на перехрестях:

DMRB рекомендує мінімальний радіус кривизни для різних типів доріг і умов руху. Наприклад, для міських районів зазвичай рекомендований мінімальний радіус кривизни 12-15 метрів. Однак це може відрізнятись залежно від таких факторів, як обмеження швидкості, тип транспортного засобу та безпека пішоходів.

Також DMRB підкреслює важливість гарної видимості на перехрестях для забезпечення безпечного та ефективного руху транспорту. При проектуванні слід враховувати такі фактори, як видимість водія, потенційні перешкоди та необхідність забезпечити чітку видимість транспортних засобів, що наближаються. Радіус кривизни має бути розроблений таким чином, щоб відповідати поворотним рухам різних типів транспортних засобів, включаючи автомобілі, автобуси, вантажівки та транспортні засоби швидкої допомоги. Це включає врахування таких факторів, як розміри автомобіля, радіуси повороту та необхідність запобігання конфліктам між різними рухами транспорту. DMRB рекомендує використовувати перехідні криві для забезпечення плавного та безперервного переходу між прямими ділянками дороги та вигнутими ділянками на перехрестях. Це допомагає звести до мінімуму ймовірність різких змін у вирівнюванні, що може призвести до дискомфорту водія та зниження безпеки. Радіус кривизни також слід проектувати з урахуванням загальної геометрії перехрестя, такої як кількість смуг, розташування смуг для повороту або кільцевих розв'язок, а також необхідність забезпечення достатнього простору для пішохідних переходів і велосипедистів. шляхи.

Важливо зазначити, що конкретні вимоги та вказівки можуть відрізнятися в різних країнах-членах ЄС, оскільки кожна країна може мати власні стандарти та правила проектування. Щоб отримати точну та актуальну інформацію, радимо ознайомитися з конкретними стандартами проектування та вказівками відповідної країни чи регіону.

Згідно з будівельними нормами України (БДН В.2.2-5), радіус заокруглення проїзної частини на перехрестях має відповідати певним вимогам. Норми встановлюють мінімальні значення радіусу для різних типів доріг та режимів руху. Основні вимоги щодо радіусу заокруглення включають:

1. Для головних доріг:

- На вузьких перехрестях, де швидкість руху нижча за 40 км/год, радіус закруглення повинен бути не менше 10 метрів.

- На вузьких перехрестях, де швидкість руху 40-60 км/год, радіус закруглення повинен бути не менше 20 метрів.

- На широких перехрестях, де швидкість руху вище 60 км/год, радіус закруглення повинен бути не менше 40 метрів.

2. Для другорядних доріг:

- На вузьких перехрестях, де швидкість руху нижча за 40 км/год, радіус закруглення повинен бути не менше 7,5 метра.

- На вузьких перехрестях, де швидкість руху 40-60 км/год, радіус закруглення повинен бути не менше 15 метрів.

- На широких перехрестях, де швидкість руху вище 60 км/год, радіус закруглення повинен бути не менше 30 метрів.

Вимоги до радіусу закруглення проїзної частини на перехрестях покликані забезпечити безпеку руху, комфортність та ефективність перетинів доріг. Враховуючи ці вимоги, обов'язкове дотримання встановлених мінімальних значень радіусу закруглення має велике значення при проектуванні та будівництві перехрестя.

4.2 Експериментальні дослідження впливу заокруглення проїзної частини нерегульованого перехрестя на затримку транспортних засобів

Методика дослідження затримок транспортних засобів на перехресті з використанням GPS-треків дозволяє збирати та аналізувати дані про проходження транспортних засобів для оцінки проблем із затримками та їхньої потенційної оптимізації. Це може бути корисним інструментом для покращення потоку транспортних засобів та забезпечення більш ефективного використання дорожньої інфраструктури. Визначення причин затримок може бути досягнуто шляхом аналізу даних GPS-треків у поєднанні з іншою інформацією, такою як час доби, погодні умови та обсяг транспортного

поток. Це може допомогти у виявленні факторів, які значно впливають на затримку транспорту на перехрестях. Отримані дані можна обробити з використанням спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу GPS-треків, яке дозволить нам візуалізувати досліджуване перехрестя та різні траєкторії руху автомобілів. Це дозволяє детальніше вивчити взаємодію між транспортними засобами та виявити основні фактори, що впливають на затримки.

В нашому випадку легковий автомобіль, обладнаний GPS-трекером здійснював рух через нерегульовані перетинання в м. Харкові. Рух здійснювався у вільних умовах, коли були відсутні перешкоди з боку транспортного потоку на перетинаючому напрямку. Результати записувалися у вигляді GPS-треку та потім оброблялися на комп'ютері.

Запис треків проводився у форматі grx (текстовий формат зберігання та обміну даними GPS, заснований на форматі XML), що дозволяє зберігати інформацію у довільній формі, при якій обов'язкові лише довгота та широта точок треку. Для первинної обробки треків і перекладу отриманих характеристик у формат Excel використовувалася програма GPS Track Editor, що має простий інтерфейс користувача (рис. 4.2).

Метою обробки кожного треку було одержання параметрів: час від початку запису треку (с) довжини сегмента/секції (км) та тривалість руху (хв) миттєва швидкість руху (км/год) миттєве прискорення (м/с²). Для отриманого масиву даних було зроблено перерахунок часу в числовий формат для зручності подальшої обробки даних.

Для обробки даних, отриманих з навігатора автомобіля, а саме вивантаження вихідної інформації про характеристики треків, було використано програму Excel.

Загалом запис треків, їх експорт та обробка виконуються за такою методикою:

1. Запис GPS-треку на обстежуваній ділянці дороги.

2. Виявлення початку та закінчення аналізованої частини треку, наприклад, відповідної початку та закінчення маневру на перетинанні.
3. Експорт параметрів треків у файл бази даних формату *.csv.
4. Імпорт треку в середовище Excel та коригування формату подання даних у стандартний числовий формат.
5. Розрахунок характеристик руху автомобіля за даними треку.
5. Побудова графіків залежностей параметрів руху автомобіля в координатах "відстань - час", "час-швидкість" на основі створеної бази даних.
5. Математична обробка даних для оцінки тривалості затримки транспортного засобу при проїзді перетинання.

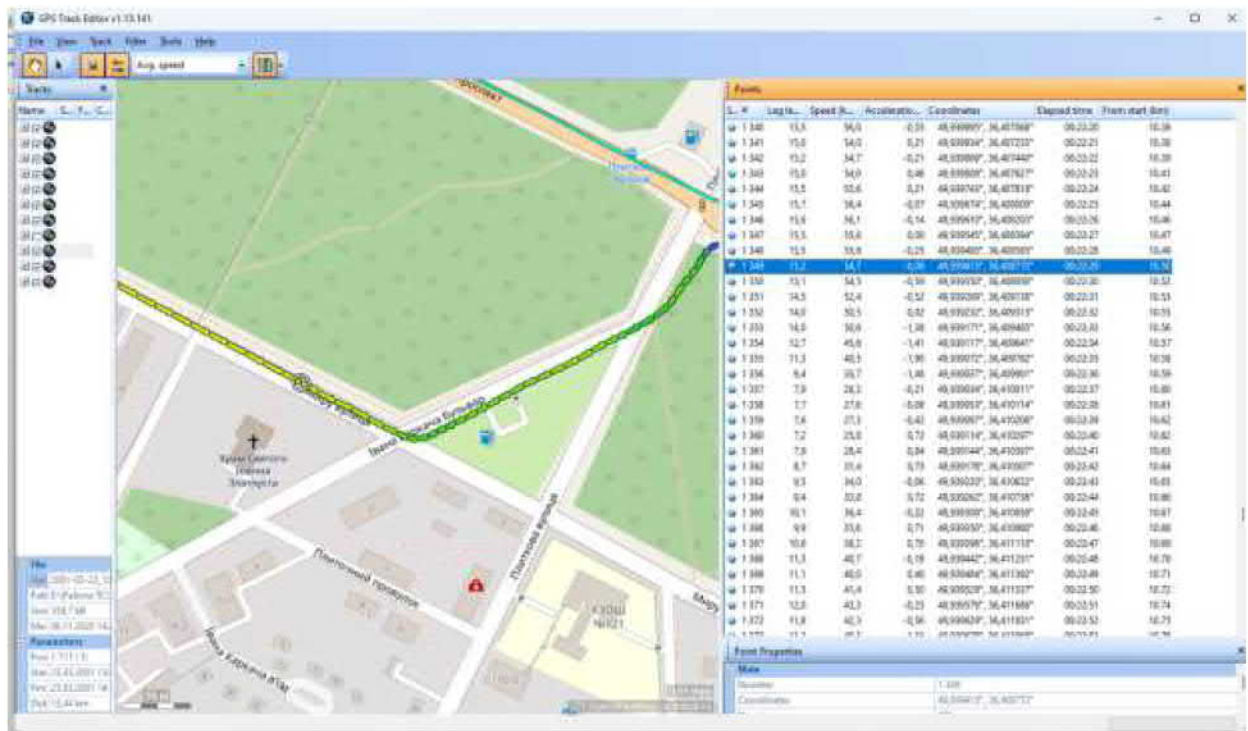


Рисунок 4.1 - Робоче вікно програми GPS Track Editor

В процесі розрахунків на першому етапі з даних треку визначаються точки початку та закінчення маневру. Оскільки у якості базової швидкості було прийняте 50 км/год, точною початку маневру є момент початку зниження швидкості в процесі гальмування перед перетинанням. Точною

закінчення маневру обирався момент досягнення автомобілем базової швидкості 50 км/год після проїзду перетинання. Далі визначалась відстань, яку проїхав автомобіль від початкової до кінцевої точки, яка визначала довжину зони впливу перетинання (рис. 4.2). Оскільки в даних GPS-треку відображалась відстань між послідовними точками, довжина зони впливу перетинання визначалась як сума всіх відрізків між початкової до кінцевої точки:

$$L_z = \sum_{i=1}^n l_i, \quad (4.1)$$

де l_i - довжина одинарного відрізка між точками треку;

n - кількість точок треку, що попадають в зону впливу перетинання.

Оскільки інтервал запису точок GPS-треку складав 1 с, фактично витрачений автомобілем час на подолання зони впливу перетинання в секундах t_f відповідав кількості точок треку між початком та закінченням зони.

Далі розраховувався розрахунковий час проїзду автомобілем ділянки, що дорівнює довжині зони впливу перетинання, зі швидкістю 50 км/год:

$$t_r = \frac{L_z \cdot 3,6}{50}. \quad (4.2)$$

Оскільки, як відзначалося раніше, під затримкою транспортного засобу при проїзді перетинання розуміється різниця між фактично витраченим часом та розрахунковим часом, величина затримки може бути знайдена як:

$$t_{\Delta} = t_f - t_r. \quad (4.3)$$

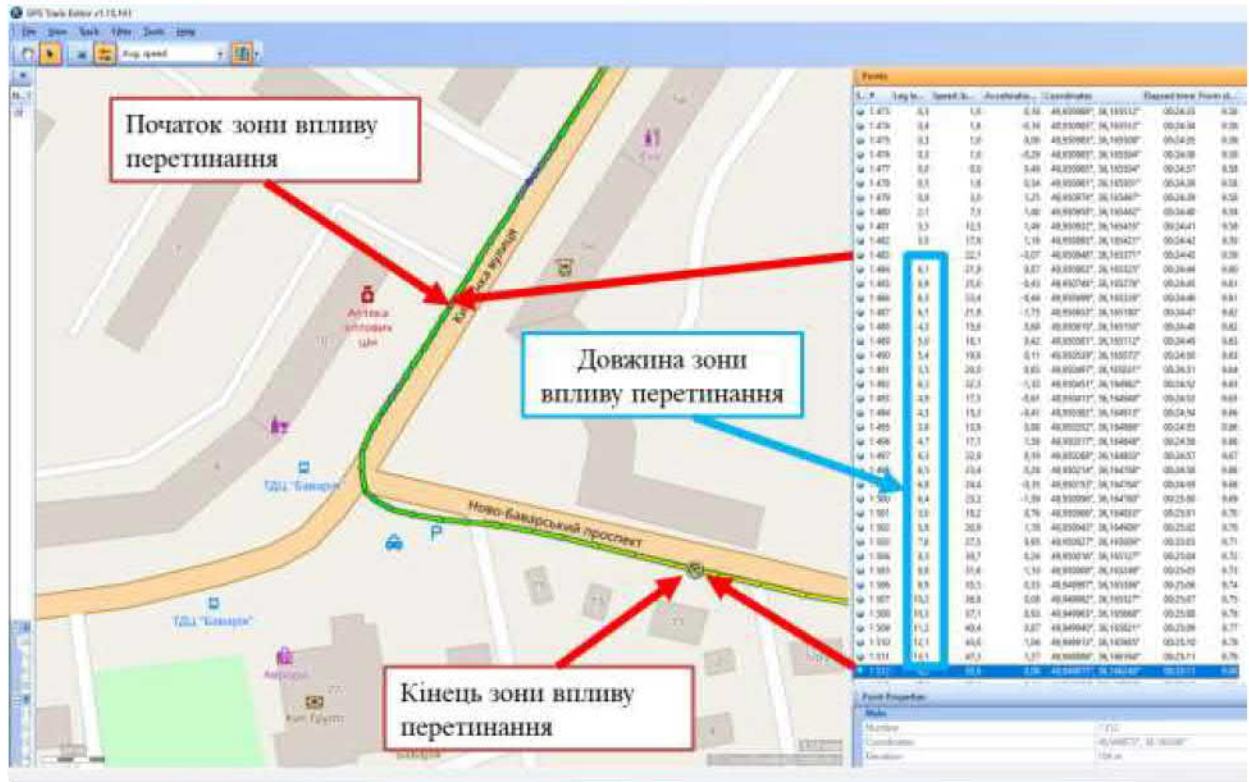


Рисунок 4.2 – Визначення довжини зони впливу перетинання з GPS-треку

Наведена методика обробки даних GPS-треку також дозволяє досить швидко уявити параметри руху автомобіля в зоні перетинання у формі графіків в координатах «відстань-швидкість», «час-швидкість» та час-відстань». Така форма подання є найбільш прийнятною для якісної оцінки величини затримки транспортного засобу при проїзді перетинання.

4.3 Визначення радіусів заокруглення проїзної частини на перетинаннях

Як було показано у попередньому розділі дипломної роботи, геометрія перетинання є одним із факторів, що впливає на затримку транспортних засобів. Тому поліпшення геометрії нерегульованих перехресть має привести в тому числі до зменшення затримок при їх проїзді. Радіус заокруглення

проїзної частини обирають, керуючись конкретними технічними вимогами ДБН та фактичними параметрами місця розташування перетинання.

Для оцінки результатів експериментальних досліджень затримки автомобіля при проїзді нерегульованих перетинань та їх порівняння з емпіричною залежністю в дипломній роботі потрібно було визначити фактичний радіус траєкторії руху. Для цього були використані супутникові знімки міста з сервісу Google maps. На знімках в правому нижньому куті розміщено масштабний відрізок.

Таким чином, шляхом вписування кіл відомого радіусу з достатнім ступенем точності вдалося визначити геометричні параметри перетинань (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Схема визначення радіуса траєкторії руху автомобіля на

4.4 Порівняння результатів експериментальних досліджень з теоретичною залежністю

В попередньому розділі дипломної роботи була отримана теоретичні моделі, що дозволяють оцінити вплив зокрема радіусу траєкторії руху транспортного засобу на нерегульованому перетинанні при виконанні безконфліктного маневру.

Зібравши в результаті аналізу даних GPS-треків експериментальні дані про величину затримок автомобіля при проїзді різних перетинань, ми можемо аналізувати затримки, порівнюючи фактичні часові інтервали при проїзді перетинання із розрахунковими значеннями, розрахованими з умови, що швидкість руху при проїзді зони перетинання не змінювалася.

У таблиці 4.1 наведені результати експериментально отриманих значень затримки автомобіля при проїзді перетинань з траєкторіями певного радіусу.

Таблиця 4.1 – Результати обробки експериментальних даних

Номер ділянки	Напрямок повороту	Радіус траєкторії на перетинанні, м	Значення затримки руху, с
1	праворуч	13,2	8,3
2	праворуч	12,3	6,6
3	праворуч	10,8	9,1
4	ліворуч	21,3	1,9
5	ліворуч	26,2	3,9
6	ліворуч	17,6	2,2
7	праворуч	15,5	6
8	ліворуч	16,1	5,1

Як можна побачити, значення затримки в цілому знаходяться в межах допустимого діапазону значень. Для візуального порівняння відповідності отриманих експериментальних значень затримки автомобіля при проїзді нерегульованих перетинань з даними, розрахованими за залежністю 3.27

потрібно побудувати графік залежності затримки автомобіля від радіусу траєкторії руху для розрахункової швидкості 50 км/год та нанести на графік експериментальні точки. Отриманий результат наведено на рис. 4.4.

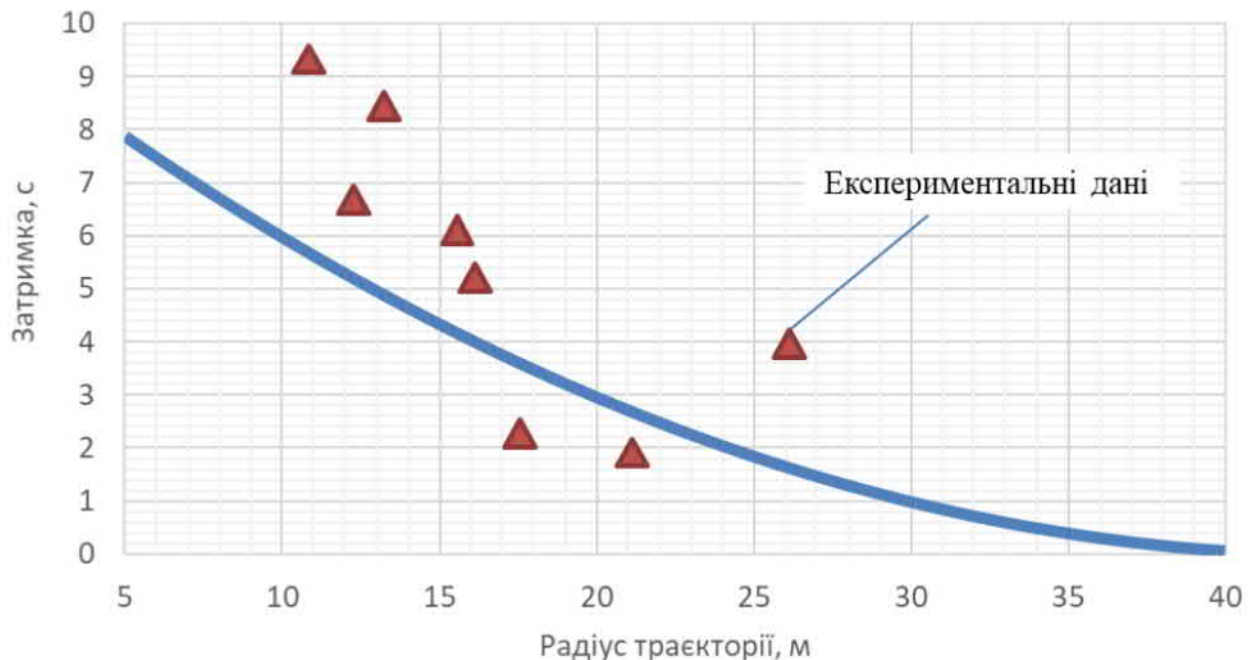


Рисунок 4.4 - Залежність затримки автомобіля від радіусу траєкторії руху на перетинанні при значенні розрахункової швидкості 50 км/год

На рисунку можна побачити, що отримані експериментальні дані в цілому добре збігаються з прогнозними значення затримки, розрахованими за теоретичною залежністю. Також видно, що зберігається тенденція до зменшення затримки автомобіля при збільшенні радіуса траєкторії руху.

Для кількісної оцінки розбіжностей між експериментальними та розрахунковими результатами з використанням програми Excel був проведений кореляційний аналіз двох рядів даних. Результати аналізу показані в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати порівняльного аналізу експериментальних та розрахункових результатів оцінки затримки автомобіля при проїзді перетинання

Радіус траєкторії, м	Затримка експериментальна, с	Затримка розрахункова, с
10,8	9,1	8,7
12,3	6,6	8,5
13,2	8,3	8,3
15,5	6	8,2
16,1	5,1	7,9
17,6	2,2	7,8
21,3	1,9	7,8
26,2	3,9	7,8
Коефіцієнт кореляції	0,91	
Середньоквадратичне відхилення	3,16	

Таким чином, можна вказати, що отримана в третьому розділі дипломної роботи залежність затримки транспортного засобу при маневруванні на нерегульованому перетинанні в залежності від радіусу траєкторії добре корелює з результатами експериментальних досліджень.

4.5 Висновки до розділу 4

Для оцінки ступеня адекватності аналітичної залежності затримки транспортного засобу від геометричних параметрів перетинання були проведені експериментальні дослідження, в яких методом аналізу GPS-треків визначалася фактична затримка автомобіля при проїзді різних нерегульованих перетинань. При цьому фактичні витрати часу при проїзді перетинання порівнювалися із розрахунковими значеннями, розрахованими з умови, що швидкість руху при проїзді зони перетинання залишалася б незмінною. Для оцінки параметрів траєкторії руху автомобіля на перетинаннях використовувалися супутникові знімки сервісу Google maps.

Порівняльний аналіз показав, що запропонована в дипломній роботі залежність затримки транспортного засобу при маневруванні на нерегульованому перетинанні від радіусу траєкторії руху добре корелює з результатами експериментальних досліджень.

ВИСНОВКИ

1. Затримка транспортних засобів виступає одним з основних критеріїв, що визначають якість організації дорожнього руху. Зазвичай під цим поняттям розуміють втрату транспортного часу, яка виникає при проїзді транспортного засобу через ділянку дороги зі швидкістю, меншою за розрахункову. Одним з місць генерації затримок на міських дорогах є перетинання в одному рівні. Аналіз літературних джерел показує, що дослідженню нерегульованих перетинань надається менше уваги порівняно з регульованими. Подальші дослідження з цієї проблеми вимагають покращення методів оцінки, стандартизації даних та розробки більш точних моделей для оцінки затримок автомобілів на нерегульованих перетинах.

2. Загалом, затримка транспортного засобу при проїзді нерегульованого перетинання залежить від низькі факторів, включаючи інтенсивність транспортного потоку з головного та другорядного напрямків, дорожніх умов, поведінки водія та розуміння обстановки на дорозі. Одним із можливих напрямків покращення якості організації дорожнього руху в великих містах України є зменшення затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях шляхом удосконалення геометрії перетинань.

3. Затримка автомобіля на нерегульованому перехресті з другорядного напрямку залежить від тривалості очікування водієм прийняттого інтервалу, тривалості перебування в черзі і величини зниження автомобілем швидкості руху, обумовленого гальмуванням перед перехрестям і подальшим розгоном. Геометричні параметри перетинання в першу чергу впливає на останню складову сумарної затримки та вони є головним фактором при здійсненні безконфліктного маневру на перетинанні.

4. При здійсненні безконфліктного маневру на нерегульованому перехресті затримка автомобіля виникає через зниження швидкості при русі по криволінійній ділянці. Отримані аналітичні залежності дозволяють проаналізувати вплив радіусу траєкторії руху транспортного засобу на

нерегульованому перетинанні на величину затримки автомобіля, що здійснює маневрування. Було з'ясовано, що збільшення радіусу траєкторії руху на 5 метрів дає зниження затримки автомобіля при здійсненні маневру приблизно на 1,5 секунди.

5. Для оцінки ступеня адекватності аналітичної залежності затримки транспортного засобу від геометричних параметрів перетинання були проведені експериментальні дослідження, в яких методом аналізу GPS-треків визначалася фактична затримка автомобіля при проїзді різних нерегульованих перетинань. При цьому фактичні витрати часу при проїзді перетинання порівнювалися із розрахунковими значеннями, розрахованими з умови, що швидкість руху при проїзді зони перетинання залишалася б незмінною. Для оцінки параметрів траєкторії руху автомобіля на перетинаннях використовувалися супутникові знімки сервісу Google maps. Порівняльний аналіз показав, що запропонована в дипломній роботі залежність затримки транспортного засобу при маневруванні на нерегульованому перетинанні від радіусу траєкторії руху добре корелює з результатами експериментальних досліджень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн. за заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. Кн. IV: Організація дорожнього руху. К.: Знання України, 2014. 452 с.
2. S. Ilgin Guler, Monica Menendez. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections. *International Journal of Transportation Science and Technology*, Volume 5, Issue 4, 2016, Pages 257-267, ISSN 2046-0430, DOI:10.1016/j.ijtst.2017.03.002.
3. Smith, J., Johnson, A., & Brown, R.. A Methodology for Estimating Vehicle Delays at Unsignalized Intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1995, 3(2), 87-103.
4. Anderson, L., & Johnson, M.. Analyzing Vehicle Delay at Unsignalized Intersections Using Microsimulation. *Journal of Transportation Engineering*, 2008, 134(10), 403-411.
5. Li, S., & Liu, Z. Assessing Vehicle Delay at Unregulated Intersections: A Machine Learning Approach. *Journal of Advanced Transportation*, 2019.1-15.
6. S. Ilgin Guler, Monica Menendez. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections. *International Journal of Transportation Science and Technology*, Volume 5, Issue 4, 2016, Pages 257-267, ISSN 2046-0430, <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.03.002>.
7. Brilon, W.: Delay at Unsignalized Intersections. *Paper presented at the TRB Annual Meeting, Washington, published in: Transportation Research Record*, No. 2071, pp. 98 - 108.
8. Maji, Abhijnan & Nayak, Subhada & Panda, M & Bhuyan, Prasanta. Service level modelling of motorized three-wheelers at un-signalized intersections under heterogeneous traffic conditions. *European Transport \ Trasporti Europei*. 2022, Issue 88, Paper 2, ISSN 1825-3997.
9. Jena, S., Patro, S., Dutta, M., Bhuyan, P. K. Assessment of service quality at unsignalized intersections using traffic simulation and computational

intelligence. *Transportation Letters. The International Journal of Transportation Research*. 2022, 14(4), p. 365-377. ISSN 1942-7867, eISSN 1942-7875. Available from: DOI:10.1080/19427867.2020.1868179.

10. Bedanokov Murat, Guketlev Y., Udzhukhu A., Labutin A. Methods for determining transport delays at simple intersections. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, 832/012091. DOI:10.1088/1757-899X/832/1/012091.

11. HCM (2000) Highway Capacity Manual. URL: https://moodle2.units.it/pluginfile.php/288390/mod_resource/content/1/highway_capacity_manual_2000.pdf (дата звернення: 27.11.2023).

12. Harders J. (1968). "Die Leistungsfähigkeit nicht signalgeregelter städtischer Verkehrsknoten", *Forschungsberichte Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, Bonn.

13. Werner Brilon, Ning Wu. Capacity at Unsignalized Intersections Derived by Conflict Technique. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2001, 1776(1):82-90, DOI:10.3141/1776-11

14. S. Chandra, A. Agrawal, A. Rajamma. Microscopic Analysis of Service Delay at Uncontrolled Intersections in Mixed Traffic Conditions. *Journal of Transportation Engineering*. No. 135(6), June 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2009)135:6(323).

15. Барвінська Х.А., Грицунь О.М. Дослідження затримки транспортного потоку на нерегульованих перехрестях з обмеженою швидкістю. *Розвиток транспорту*, № 1(6), 2020. DOI:10.33082/td.2020.1-6.07

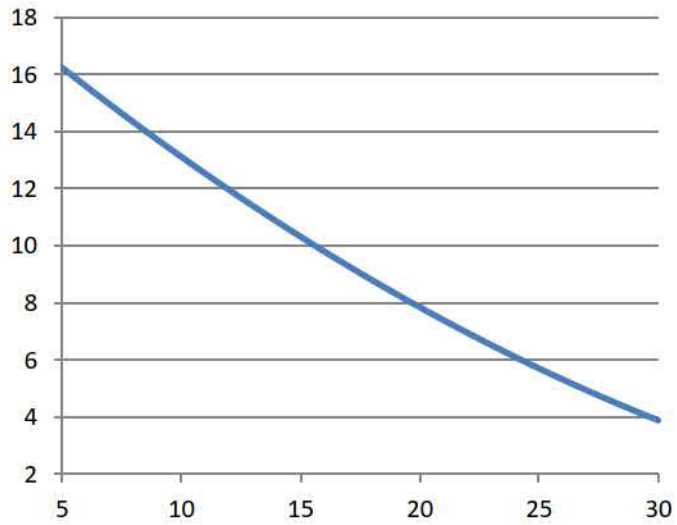
16. Design Manual for Roads and Bridges (DMRB). URL: <https://nationalhighways.co.uk/suppliers/design-standards-and-specifications/design-manual-for-roads-and-bridges-dmr/> (дата звернення: 27.11.2023).

17. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32008L0096> (дата звернення: 27.11.2023).

ДОДАТОК А
Лістинг розрахунків

$$t_{\Delta} = \frac{V_1 - 0,33 \cdot (R + 2)}{V_1} \cdot \left(\frac{V_1 - 0,33 \cdot (R + 2)}{a} + 0,05 \cdot \alpha \right)$$

R	тдельта	V1
5	16,243167	16,6667
6	15,592077	16,6667
7	14,954055	16,6667
8	14,3291	16,6667
9	13,717214	16,6667
10	13,118396	16,6667
11	12,532646	16,6667
12	11,959964	16,6667
13	11,40035	16,6667
14	10,853804	16,6667
15	10,320325	16,6667
16	9,799915	16,6667
17	9,2925727	16,6667
18	8,7982983	16,6667
19	8,317092	16,6667
20	7,8489536	16,6667
21	7,3938832	16,6667
22	6,9518807	16,6667
23	6,5229463	16,6667
24	6,1070798	16,6667
25	5,7042813	16,6667
26	5,3145507	16,6667
27	4,9378882	16,6667
28	4,5742936	16,6667
29	4,223767	16,6667
30	3,8863083	16,6667
31	3,5619176	16,6667
32	3,250595	16,6667
33	2,9523402	16,6667
34	2,6671535	16,6667
35	2,3950347	16,6667
36	2,1359839	16,6667
37	1,8900011	16,6667



$$t_{\Delta} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot V_1} \cdot \left(\frac{1}{j_p} + \frac{1}{j_r} \right) + \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot V_2}$$

R	V1 km			V1	V2 km		V2	V1-V2	$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot V_1}$	$\left(\frac{1}{j_p} + \frac{1}{j_r} \right)$	$\frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot V_2}$	t дельта
15	20	50	13,88889	10	2,77777778	40	4,44444444	1,33333333	0,288	9,76928593		
15	20	50	13,88889	11	3,05555556	39	4,225	1,33333333	0,25527273	9,03994788		
15	20	50	13,88889	12	3,33333333	38	4,01111111	1,33333333	0,228	8,39080815		
15	20	50	13,88889	13	3,61111111	37	3,80277778	1,33333333	0,20492308	7,80506883		
15	20	50	13,88889	14	3,88888889	36	3,6	1,33333333	0,18514286	7,27073143		
15	20	50	13,88889	15	4,16666667	35	3,40277778	1,33333333	0,168	6,77899704		
15	20	50	13,88889	16	4,44444444	34	3,21111111	1,33333333	0,153	6,32326648		
15	20	50	13,88889	17	4,72222222	33	3,025	1,33333333	0,13976471	5,89849333		
15	20	50	13,88889	18	5	32	2,84444444	1,33333333	0,128	5,50075259		
15	20	50	13,88889	19	5,27777778	31	2,66944444	1,33333333	0,11747368	5,12694558		
15	20	50	13,88889	20	5,55555556	30	2,5	1,33333333	0,108	4,77459333		
15	20	50	13,88889	21	5,83333333	29	2,33611111	1,33333333	0,09942857	4,4416891		
15	20	50	13,88889	22	6,11111111	28	2,17777778	1,33333333	0,09163636	4,12659098		
15	20	50	13,88889	23	6,38888889	27	2,025	1,33333333	0,08452174	3,82794261		
15	20	50	13,88889	24	6,66666667	26	1,87777778	1,33333333	0,078	3,5446137		
15	20	50	13,88889	25	6,94444444	25	1,73611111	1,33333333	0,072	3,27565481		
15	20	50	13,88889	26	7,22222222	24	1,6	1,33333333	0,06646154	3,02026256		
15	20	50	13,88889	27	7,5	23	1,46944444	1,33333333	0,06133333	2,77775259		
15	20	50	13,88889	28	7,77777778	22	1,34444444	1,33333333	0,05657143	2,54753831		
15	20	50	13,88889	29	8,05555556	21	1,225	1,33333333	0,05213793	2,32911402		
15	20	50	13,88889	30	8,33333333	20	1,11111111	1,33333333	0,048	2,12204148		
15	20	50	13,88889	31	8,61111111	19	1,00277778	1,33333333	0,04412903	1,92593897		
15	20	50	13,88889	32	8,88888889	18	0,9	1,33333333	0,0405	1,7404725		
15	20	50	13,88889	33	9,16666667	17	0,80277778	1,33333333	0,03709091	1,56534855		
15	20	50	13,88889	34	9,44444444	16	0,71111111	1,33333333	0,03388235	1,40030815		
15	20	50	13,88889	35	9,72222222	15	0,625	1,33333333	0,03085714	1,2451219		
15	20	50	13,88889	36	10	14	0,54444444	1,33333333	0,028	1,09958593		
15	20	50	13,88889	37	10,2777778	13	0,46944444	1,33333333	0,0252973	0,96351836		
15	20	50	13,88889	38	10,5555556	12	0,4	1,33333333	0,02273684	0,83675649		
15	20	50	13,88889	39	10,8333333	11	0,33611111	1,33333333	0,02030769	0,7191543		
15	20	50	13,88889	40	11,1111111	10	0,27777778	1,33333333	0,018	0,61058037		
15	20	50	13,88889	41	11,3888889	9	0,225	1,33333333	0,01580488	0,5109161		
15	20	50	13,88889	42	11,6666667	8	0,17777778	1,33333333	0,01371429	0,42005418		

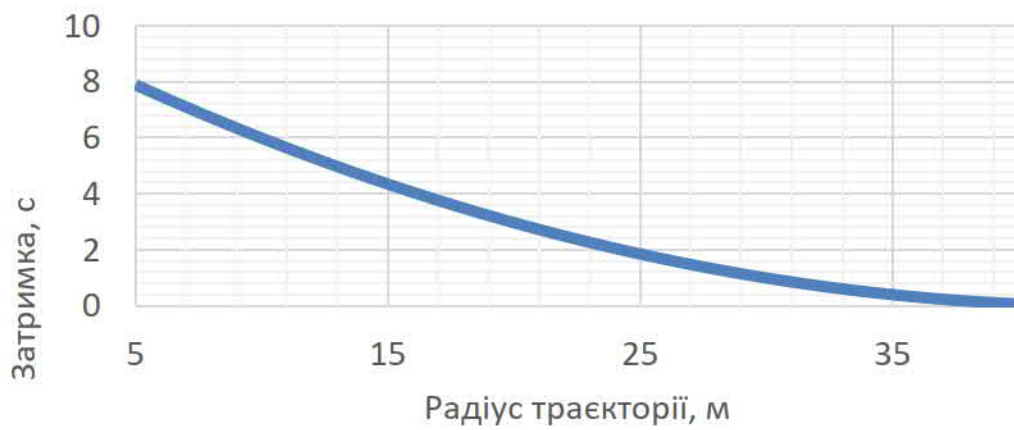
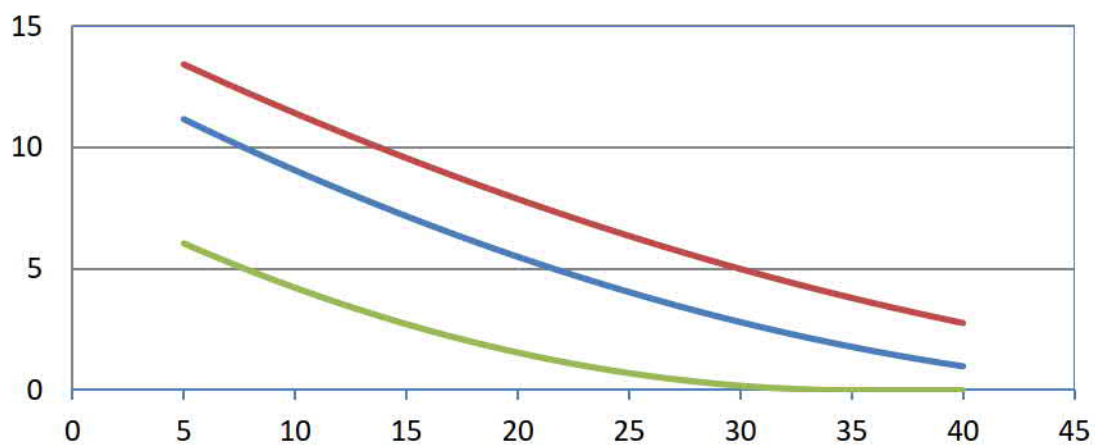
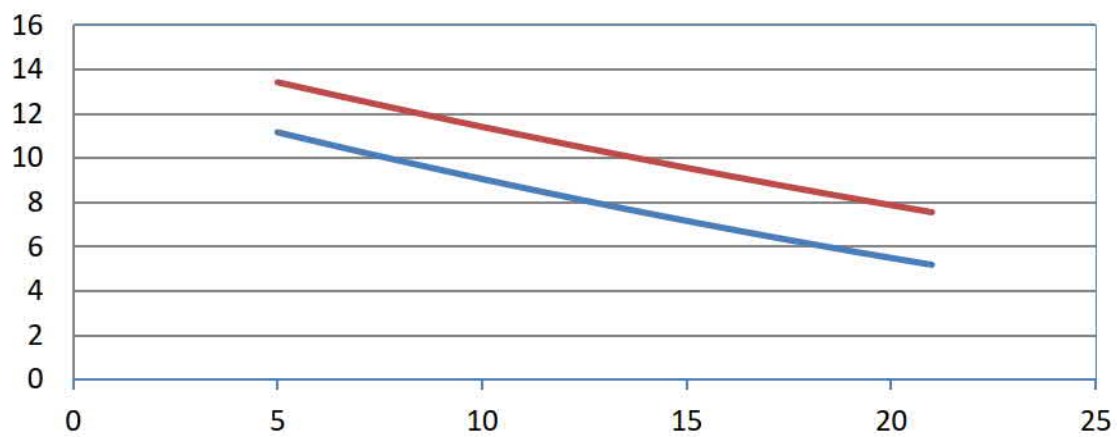
V1= км/ч
 V2= 20 км/ч 5,555556
 jp= 1 м/с2
 jt= 3 м/с2
 R= 15 м

$$t_{\Delta} = \frac{(V_1 - 0,33 \cdot (R + 2))^2}{2 \cdot V_1} \cdot \left(\frac{1}{j_p} + \frac{1}{j_r} \right) + \frac{\pi \cdot (R + 2)}{4} \cdot \frac{V_1 - 0,33 \cdot (R + 2)}{0,33 \cdot (R + 2) \cdot V_1}$$

R	V1 km	V1				V2 ki 0,33(R)			V1-V2
5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	1,65
5,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	1,815
6	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	1,98
6,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	2,145
7	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	2,31
7,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	2,475
8	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	2,64
8,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	2,805
9	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	2,97
9,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	3,135
10	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	3,3
10,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	3,465
11	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	3,63
11,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	3,795
12	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	3,96
12,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	4,125
13	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	4,29
13,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	4,455
14	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	4,62
14,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	4,785
15	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	4,95
15,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	5,115
16	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	5,28
16,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	5,445
17	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	5,61
17,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	5,775
18	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	5,94
18,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	6,105
19	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	6,27
19,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	6,435
20	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	6,6
20,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	6,765
21	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	6,93
21,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	7,095
22	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	7,26
22,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	7,425
23	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	7,59
23,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	7,755
24	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	7,92
24,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	8,085
25	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	8,25
25,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	8,415
26	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	8,58
26,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	8,745
27	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	8,91
27,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	9,075
28	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	9,24
28,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	9,405
29	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	9,57
29,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	9,735
30	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	9,9
30,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	10,065
31	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	10,23
31,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	10,395

32	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	10,56
32,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	10,725
33	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	10,89
33,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	11,055
34	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	11,22
34,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	11,385
35	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	11,55
35,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	11,715
36	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	11,88
36,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	12,045
37	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	12,21
37,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	12,375
38	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	12,54
38,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	12,705
39	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	12,87
39,5	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	13,035
40	60	80	40	50	16,666667	22,222222	11,111111	13,888889	13,2

Радіус траєкто рії, м	Затримк а експер., с	Затрим ка розрах. , с
10,8	9,1	8,7
12,3	6,6	8,5
13,2	8,3	8,3
15,5	6	8,2
16,1	5,1	7,9
17,6	2,2	7,8
21,3	1,9	7,8
26,2	3,9	7,8
Коеф. кс	0,91	
Сердньс	3,16	



Однофакторний дисперсійний аналіз

ПІДСУМОК

<i>Групи</i>	<i>Кількість</i>	<i>Сумма</i>	<i>Середнє</i>	<i>Дисперсія</i>
Експериментальні дані	8	39,7	4,9625	5,1998214
Аналітичні дані	8	65,014141	8,12676764	0,2837398

Дисперсійний аналіз

<i>Джерело варіації</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значення</i>	<i>F критичне</i>
Між групами	40,05036	1	40,0503588	14,607427	0,001868031	4,600109937
В групі	38,38493	14	2,74178061			
Взагалі	78,43529	15				

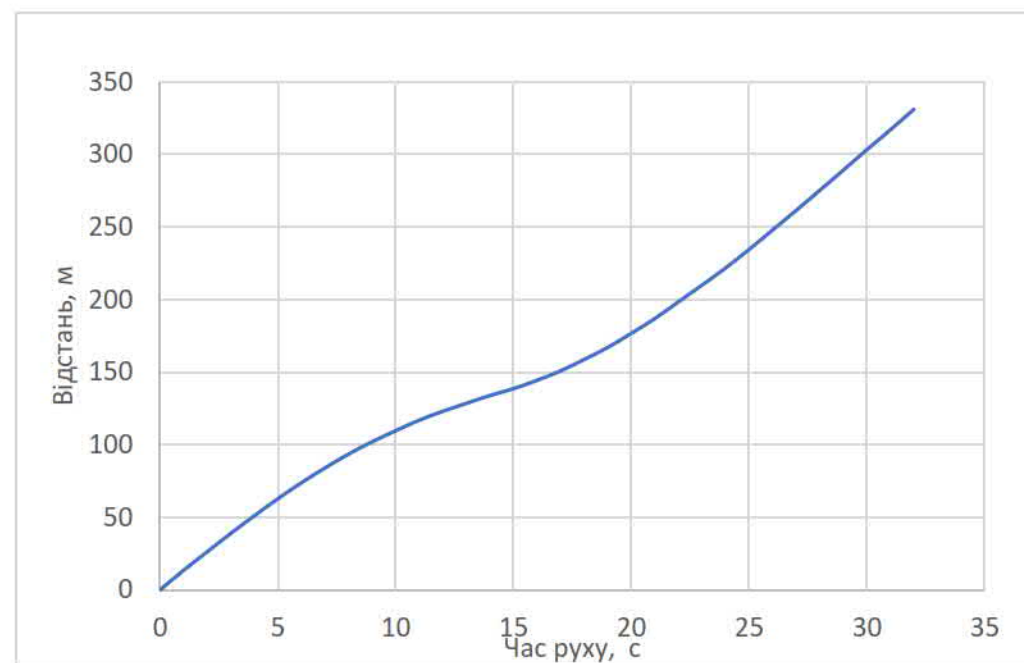
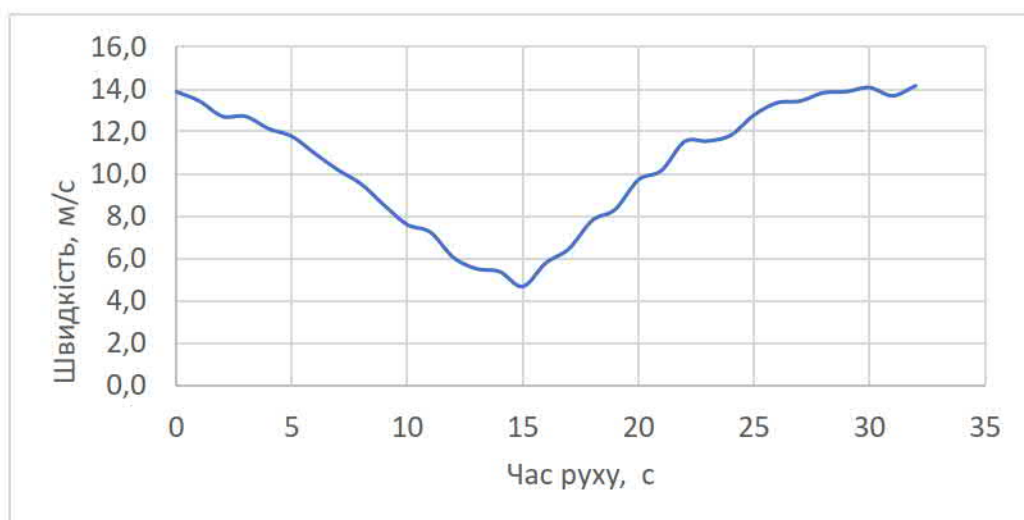
Speed (km/h)	Leg length (m)	From start (m)	Elapsed time	Час, с	Відстань, м	Швидкість, м/с
50	13,9	0,014	00:00:00	0	0	13,9
48,4	13,5	0,025	00:00:01	1	13,5	13,4
45,8	12,7	0,038	00:00:02	2	26,2	12,7
45,8	12,7	0,049	00:00:03	3	38,9	12,7
43,7	12,1	0,060	00:00:04	4	51,0	12,1
42,4	11,8	0,071	00:00:05	5	62,8	11,8
39,5	11	0,080	00:00:06	6	73,8	11,0
36,7	10,2	0,089	00:00:07	7	84,0	10,2
34,3	9,5	0,096	00:00:08	8	93,5	9,5
30,7	8,5	0,103	00:00:09	9	102,0	8,5
27,4	7,6	0,110	00:00:10	10	109,6	7,6
26,1	7,3	0,115	00:00:11	11	116,9	7,3
21,8	6,1	0,120	00:00:12	12	123,0	6,1
19,9	5,5	0,125	00:00:13	13	128,5	5,5
19,4	5,4	0,131	00:00:14	14	133,9	5,4
16,9	4,7	0,137	00:00:15	15	138,6	4,7
20,9	5,8	0,145	00:00:16	16	144,4	5,8
23,3	6,5	0,154	00:00:17	17	150,9	6,5
28,1	7,8	0,163	00:00:18	18	158,7	7,8
30	8,3	0,173	00:00:19	19	167,0	8,3
35	9,7	0,185	00:00:20	20	176,7	9,7
36,6	10,2	0,197	00:00:21	21	186,9	10,2
41,5	11,5	0,208	00:00:22	22	198,4	11,5
41,6	11,5	0,221	00:00:23	23	209,9	11,6
42,6	11,8	0,235	00:00:24	24	221,7	11,8
46	12,8	0,248	00:00:25	25	234,5	12,8
48,1	13,4	0,262	00:00:26	26	247,9	13,4
48,4	13,5	0,276	00:00:27	27	261,4	13,4
49,8	13,8	0,290	00:00:28	28	275,2	13,8
50	13,9	0,304	00:00:29	29	289,1	13,9
50,7	14,1	0,318	00:00:30	30	303,2	14,1
49,3	13,7	0,332	00:00:31	31	316,9	13,7
51	14,2	0,346	00:00:32	32	331,1	14,2

Відстань ман 331,1

Витрачений ч 32,0

Витрачений ч 23,8

Затримка, с 8,2



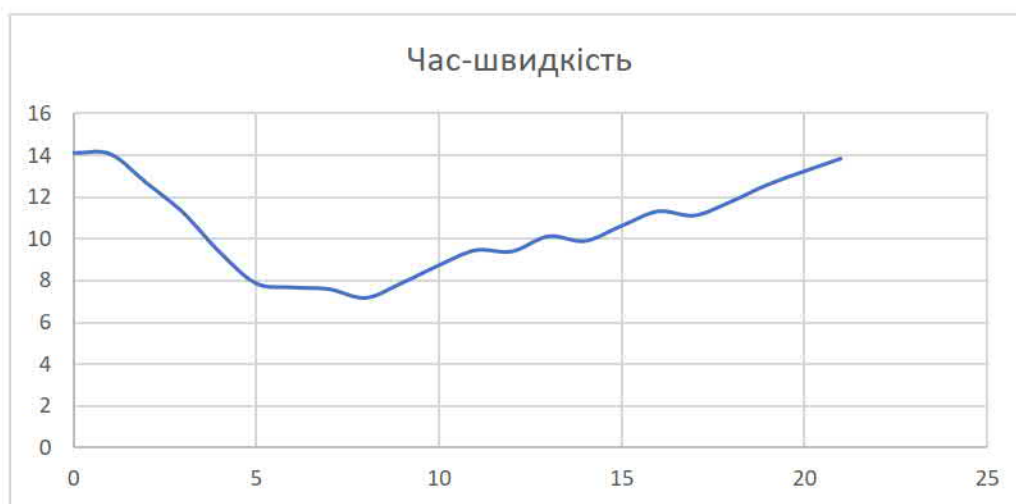
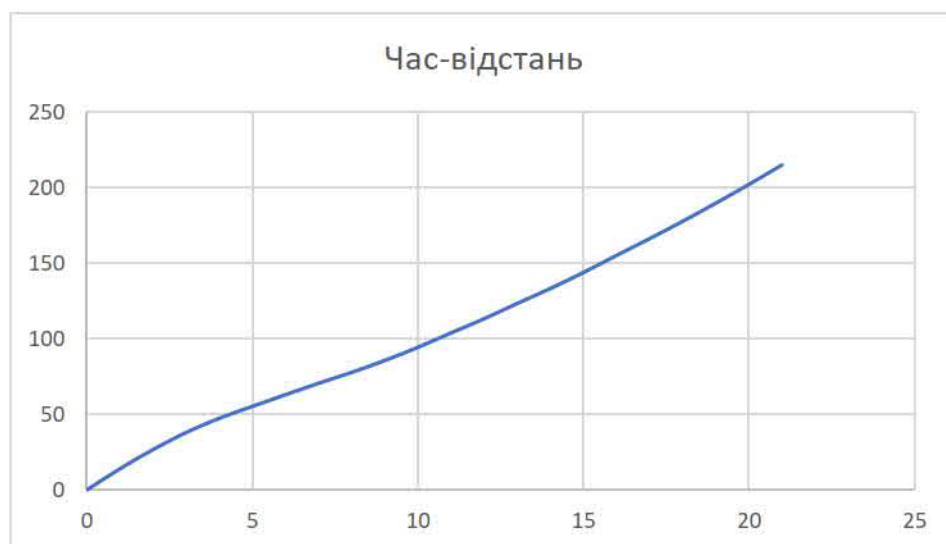
Speed (km/h)	Leg length (m)	From start (km)	Elapsed time	Час, с	Відстань, м	Швидкість, м/с
50,6	0	0,029	00:00:02	0	0	14,1
50,6	14	0,043	00:00:03	1	14,0	14,1
45,6	12,7	0,055	00:00:04	2	26,7	12,7
40,5	11,3	0,067	00:00:05	3	38,0	11,3
33,7	9,4	0,076	00:00:06	4	47,4	9,4
28,3	7,9	0,084	00:00:07	5	55,3	7,9
27,6	7,7	0,091	00:00:08	6	63,0	7,7
27,3	7,6	0,099	00:00:09	7	70,6	7,6
25,8	7,2	0,106	00:00:10	8	77,8	7,2
28,4	7,9	0,114	00:00:11	9	85,7	7,9
31,4	8,7	0,123	00:00:12	10	94,4	8,7
34,0	9,5	0,132	00:00:13	11	103,9	9,4
33,8	9,4	0,142	00:00:14	12	113,3	9,4
36,4	10,1	0,152	00:00:15	13	123,4	10,1
35,6	9,9	0,162	00:00:16	14	133,3	9,9
38,2	10,6	0,172	00:00:17	15	143,9	10,6
40,7	11,3	0,184	00:00:18	16	155,2	11,3
40,0	11,1	0,195	00:00:19	17	166,3	11,1
42,4	11,5	0,206	00:00:20	18	177,8	11,8
45,3	12	0,218	00:00:21	19	189,8	12,6
47,6	12,4	0,230	00:00:22	20	202,2	13,2
49,8	12,9	0,243	00:00:23	21	215,1	13,8

Відстань манеж 215,1

Витрачений час 21,0

Витрачений час 15,5

Затримка, с 5,5



ДОДАТОК Б
Ілюстративний матеріал до дипломної роботи

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Факультет транспортних систем
Кафедра організації та безпеки дорожнього руху

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
магістра

АНАЛІЗ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА НЕРЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕТИНАННІ

Завідувач кафедри д-р техн. наук, проф.



I. С. Наглюк

Нормоконтролер, ст. викладач



О. С. Левченко

14.12.2023

Керівник канд. техн. наук, доцент



О. В. Рябушенко

09.11.23

Студент гр. ТД-61-22



А. О. Кутенко

11.12.23

Харків – 2023

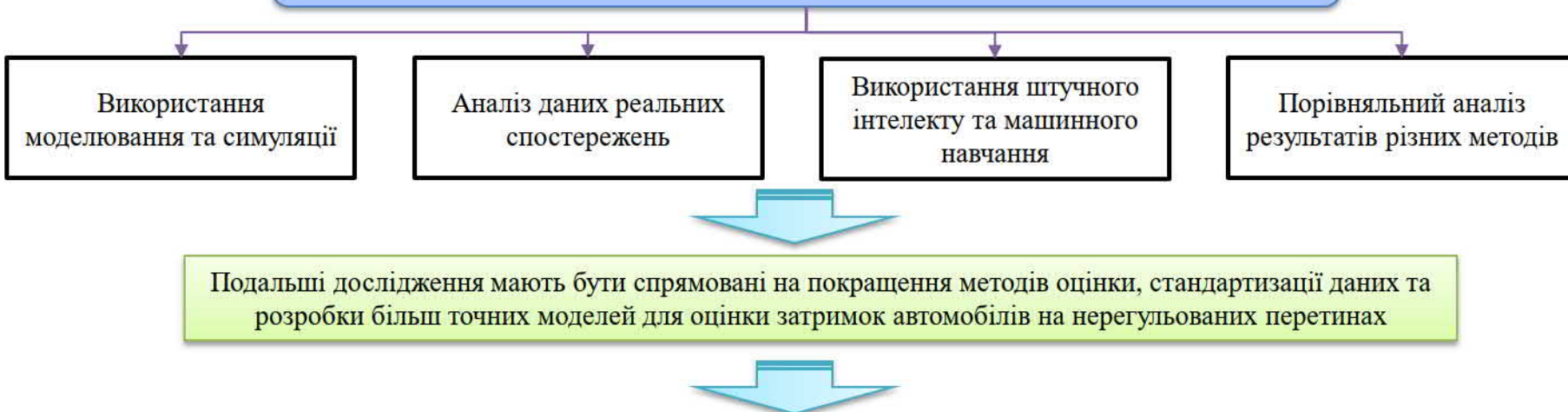
Аналіз проблеми та постановка завдання дослідження

Транспортна затримка визначається як втрата транспортного часу, що виникає при проходженні транспортним засобом ділянки дороги зі швидкістю сполучення, нижче розрахункової.

$$t_{\Delta} = \int_{l_1}^{l_n} \left[\frac{1}{V_{\phi}(l)} - \frac{1}{V_p(l)} \right] dl$$

$V_{\phi}(l)$, $V_p(l)$ - відповідно фактична і прийнята розрахункова (або оптимальна) швидкості руху, м/с;
 dl - елементарний відрізок дороги, м.

Основні методи досліджень, які використовуються в новітніх публікаціях з проблеми оцінки затримок транспортних засобів під час проїзду нерегульованих перетинів



Мета роботи - аналіз впливу параметрів нерегульованого перетинання на затримки транспортних засобів.

Об'єкт дослідження – рух транспортних засобів через нерегульоване перетинання.

Предмет дослідження – вплив параметрів перехрестя на затримки транспортних засобів при його проїзді.

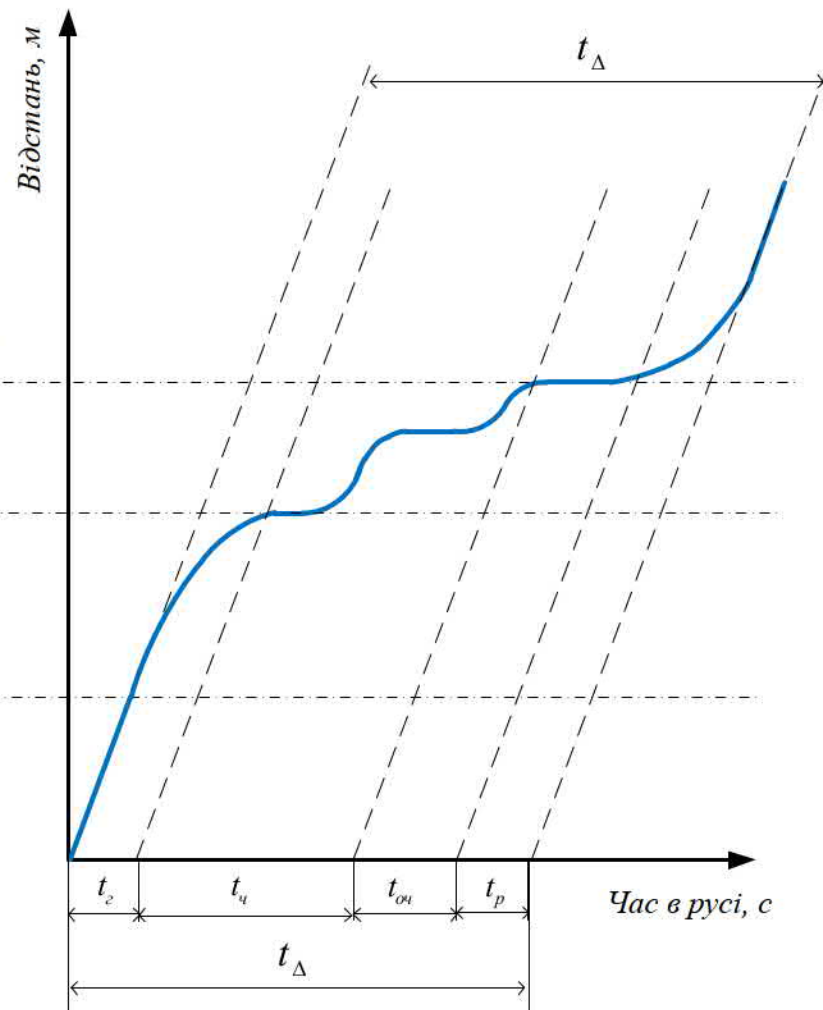
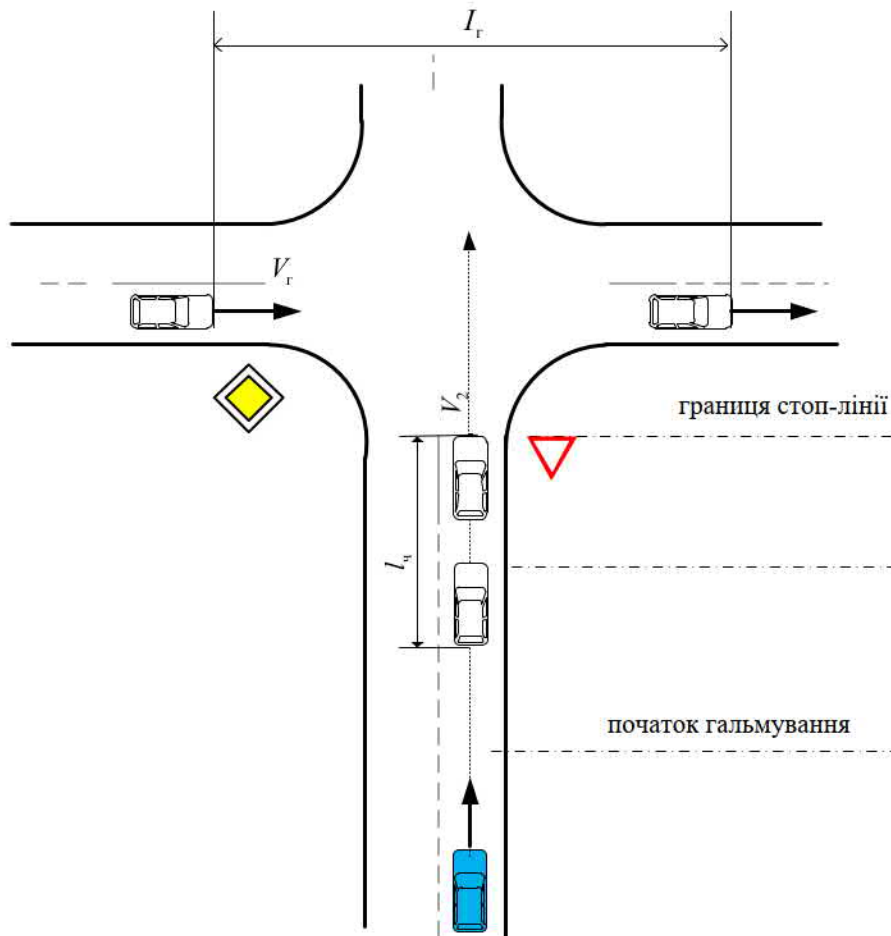
Завдання дослідження:

- 1.Провести аналіз питання оцінки затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях.
- 2.Провести аналітичні дослідження впливу геометричних параметрів нерегульованих перетинань на величину затримки транспортного засобу.
- 3.Провести експериментальні дослідження та отримати GPS-треки руху транспортного засобу через нерегульовані перетинання.
- 4.Провести співставлення результатів експериментального дослідження з отриманими аналітичними залежностями.

Складові затримка автомобіля при проїзді нерегульованого перетинання

$$t_{\Delta H} = t_{\Delta T} + t_{\Delta O} + t_{\Delta И} + t_{\Delta P}$$

$t_{\Delta И}$ - середній час очікування прийнятого інтервалу, с;
 $t_{\Delta O}$ - затримка, пов'язана з надходженням автомобілей до черги на другорядній дорозі, с;
 $t_{\Delta r}$ - затримка, пов'язана з гальмуванням автомобіля перед перехрестям, с;
 $t_{\Delta p}$ - затримка, пов'язана з розгоном автомобіля за перехрестям, с;



Залежність затримки автомобіля від часу очікування прийнятного інтервалу

Якщо припустити, що інтервали руху автомобілів головною дорогою розподілені за законом Пуассона

$$t_0 = \frac{e^{N_{\text{гл}} \cdot t_{\text{п}}} - N_{\text{гл}} \cdot t_{\text{п}} - 1}{N_{\text{гл}} - N_{\text{вт}} \cdot (e^{N_{\text{гл}} \cdot t_{\text{п}}} - N_{\text{гл}} \cdot t_{\text{п}} - 1)} \cdot 1 \quad t_{\text{оч}} = \frac{1}{\lambda} \cdot [e^{\lambda \cdot t_{\text{п}}} - \lambda \cdot t_{\text{п}} - 1] \quad \lambda = \frac{N_{\text{гл}}}{3600}$$

$N_{\text{гл}}$ – інтенсивність транспортного потоку на головній дорозі в обох напрямках, авт./с;

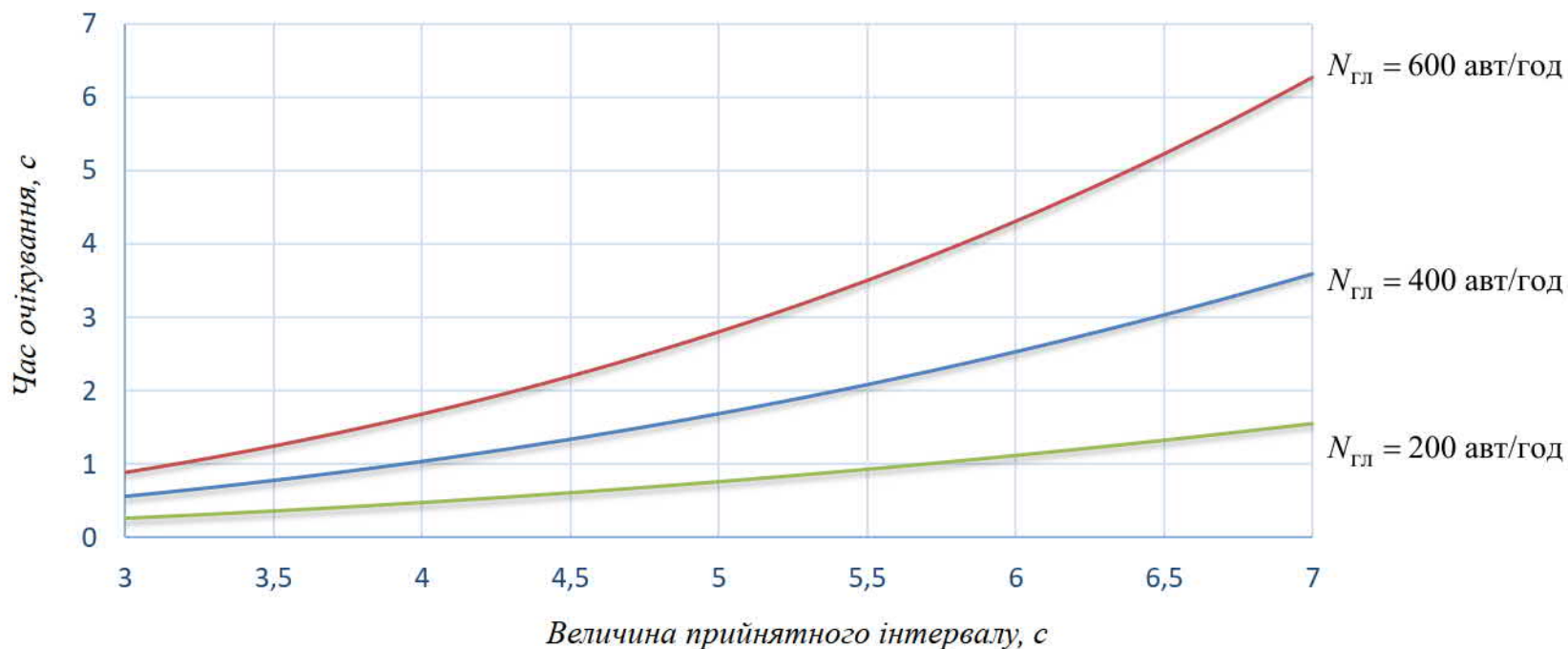
$t_{\text{гп}}$ – граничний інтервал, с.;

V_a – швидкість потоку на підході до перехрестя, км/год.;

a_e – уповільнення автомобіля, м/с². Прийняти $a_{\text{т}} = 3 \dots 4$ м/с²

a_p – прискорення автомобіля, м/с². Прийняти $a_{\text{р}} = 1,0 \dots 1,5$ м/с²

$N_{\text{в}}$ – інтенсивність транспортного потоку на другорядній дорозі в даному напрямку, авт./с;



Залежність часу очікування прийнятного інтервалу від величини інтервалу для різних значень інтенсивності головного потоку

Затримка автомобіля на нерегульованому перетинанні при здійсненні безконфліктного маневру

5

Загальна затримка транспортного засобу під час виконання маневру

$$t_{\Delta} = t_M - t_{V1}$$

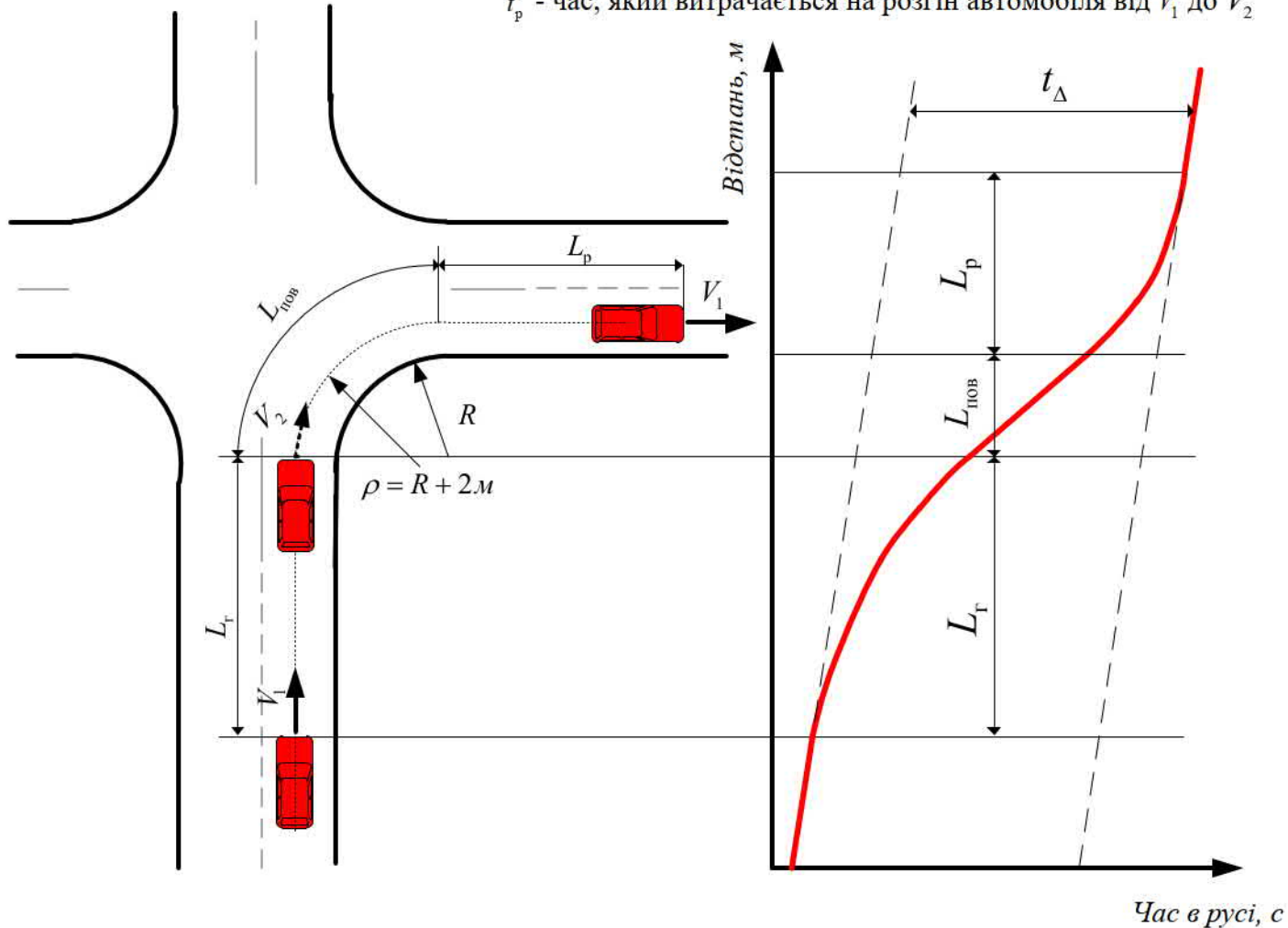
t_{V1} - час проходження ділянки з постійною швидкістю

$$t_M = t_r + t_{\text{пов}} + t_p$$

t_r - час, який витрачається на гальмування;

$t_{\text{пов}}$ - час, який витрачається на проходження криволінійної ділянки траєкторії;

t_p - час, який витрачається на розгін автомобіля від V_1 до V_2



$$t_{\Delta r} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot j_r \cdot V_1}$$

$$t_{\Delta \text{пов}} = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi \cdot \rho \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot V_2}$$

$$t_{\Delta p} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot j_p \cdot V_1}$$

Сумарна затримка автомобіля при виконанні маневру

$$t_{\Delta} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot j_r \cdot V_1} + \frac{\alpha \cdot \pi \cdot \rho}{180} \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot V_2} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot j_p \cdot V_1}$$

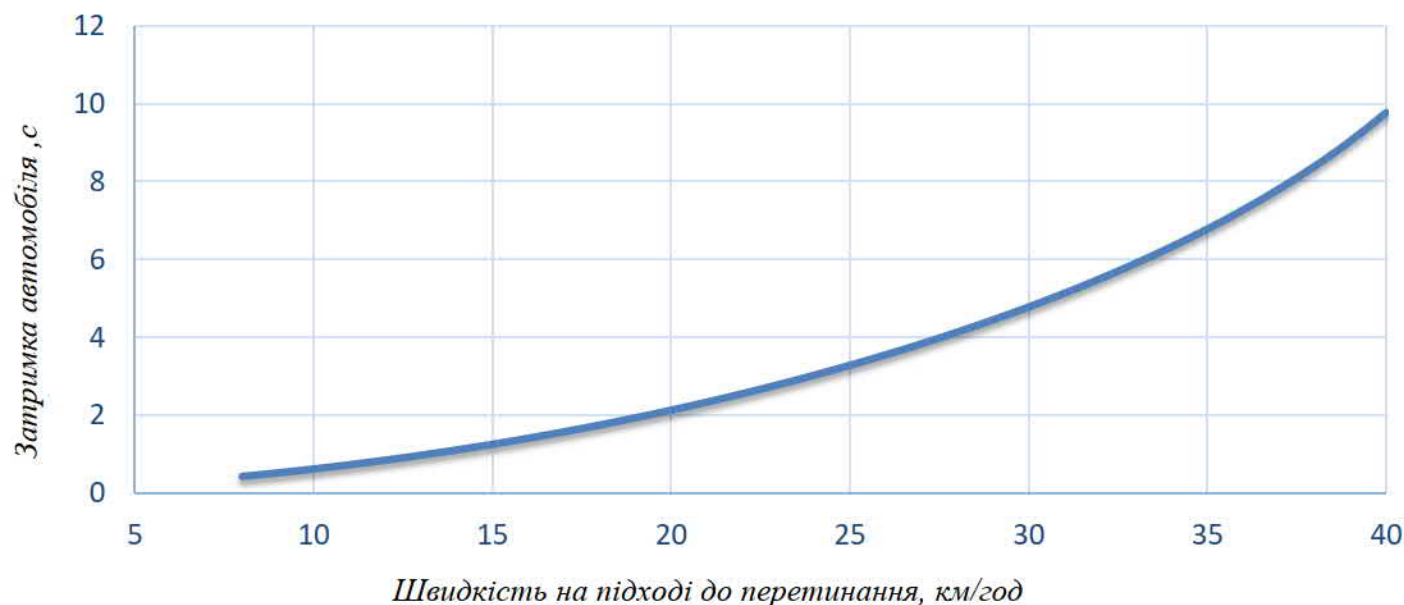
V_1 - швидкість руху автомобіля на підході до перехрестя (перед початком гальмування), м/с;

V_2 - швидкість руху автомобіля на повороті, м/с;

ρ - радіус траєкторії руху автомобіля, м;

j_r - сповільнення при гальмуванні автомобіля перед поворотом, м/с²;

j_p - прискорення автомобіля після проходження повороту, м/с².



Залежність затримки автомобіля при безконфліктному маневруванні від початкової швидкості

Початкові умови: $V_1 = 50$ км/год, $j_p = 1$ м/с², $j_r = 3$ м/с²

Аналіз впливу радіусу траєкторії автомобіля на затримку при безконфліктному маневруванні

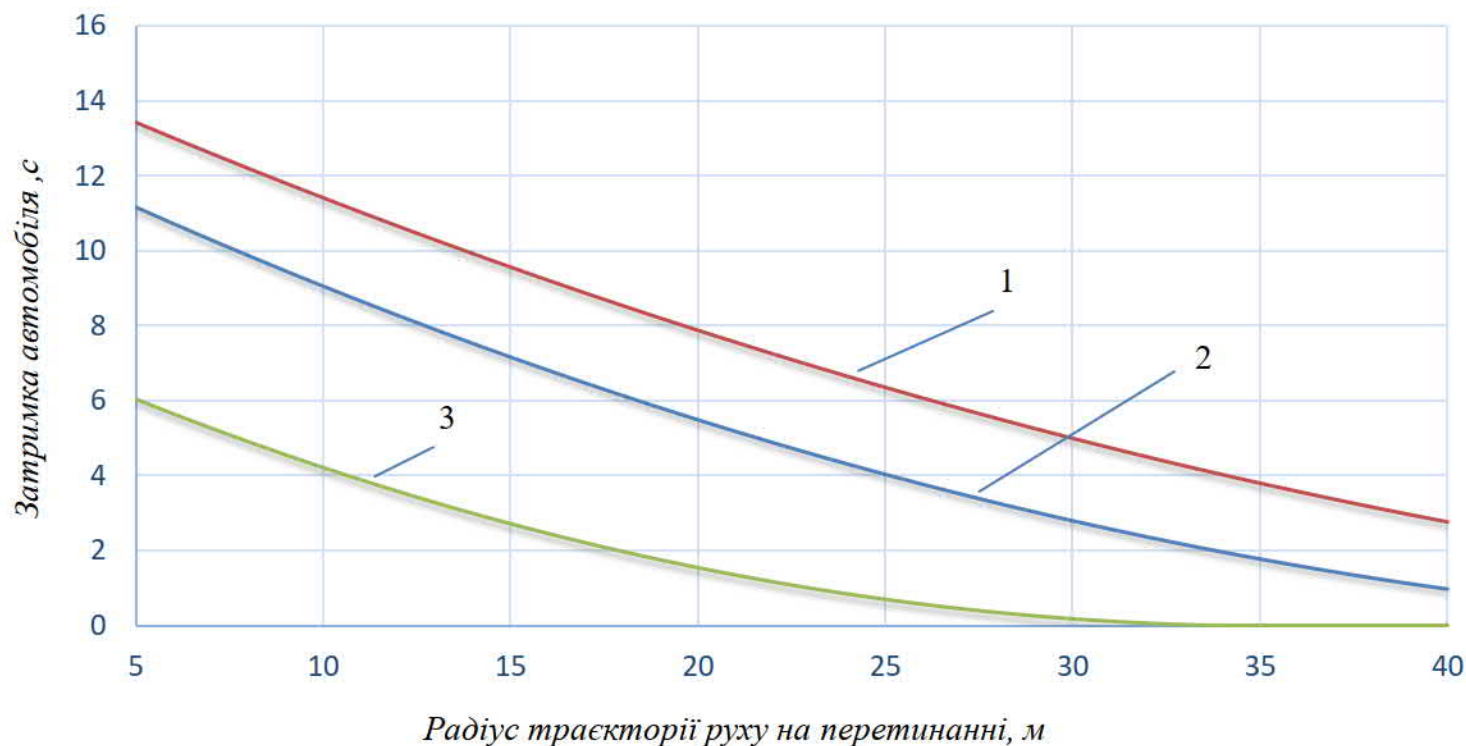
Вираз для сумарної затримки автомобіля при безконфліктному маневруванні

$$t_{\Delta} = \frac{(V_1 - 0,33 \cdot R^2)}{2 \cdot V_1} \cdot \left(\frac{1}{j_p} + \frac{1}{j_r} \right) + \frac{\pi \cdot R}{4} \cdot \frac{V_1 - 0,33 \cdot R}{0,33 \cdot R \cdot V_1}$$

V_1 - швидкість руху автомобіля на підході до перехрестя, м/с;

V_2 - швидкість руху автомобіля на криволінійній ділянці, м/с;

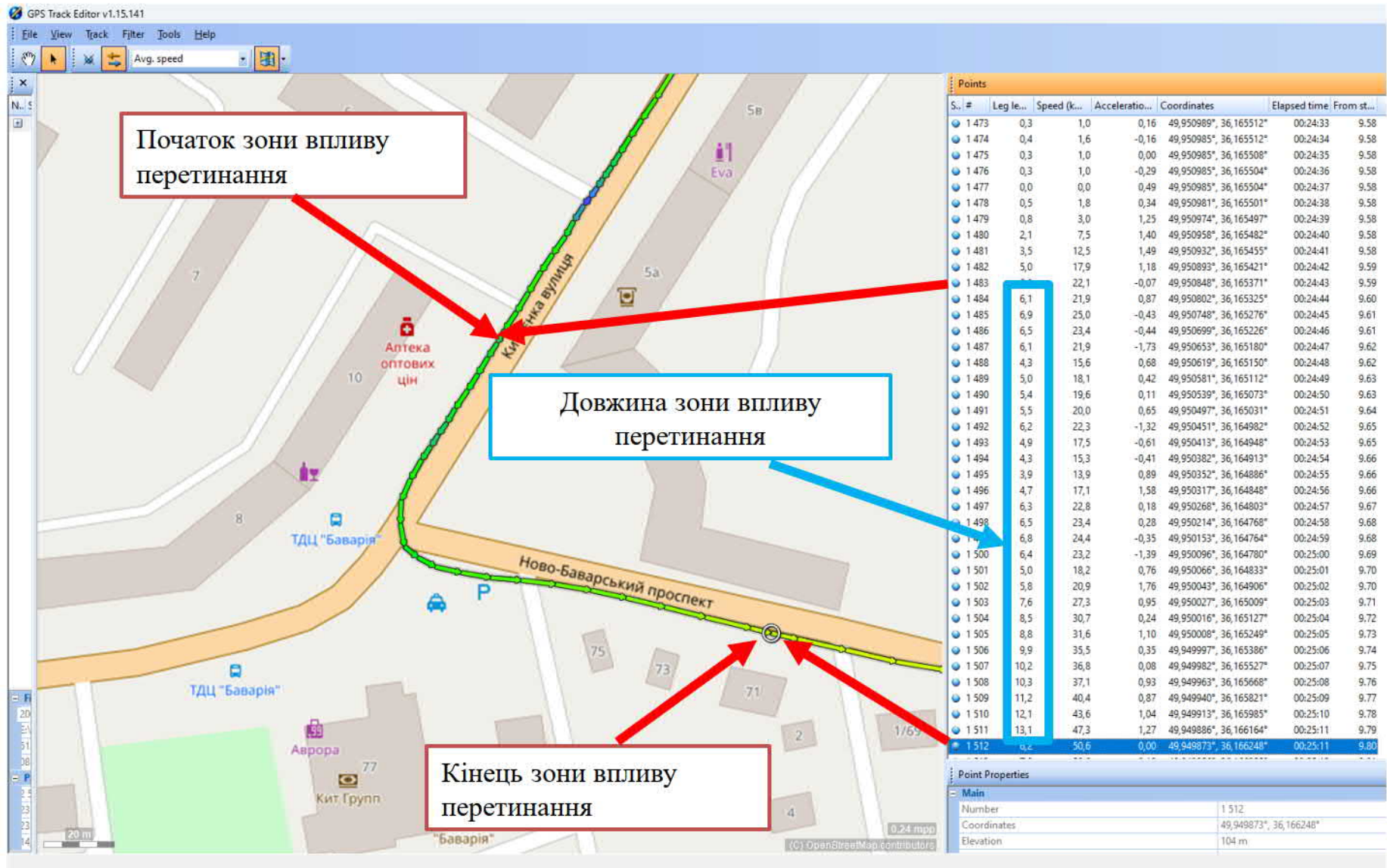
R - радіус траєкторії руху на криволінійній ділянці, м/с



Залежність затримки автомобіля при безконфліктному маневруванні на перетинанні від радіусу траєкторії при різних значеннях початкової швидкості:

1- $V_1 = 80$ км/год 2 - $V_1 = 60$ км/год 3 - $V_1 = 40$ км/год

Проведення експериментальних досліджень затримка автомобіля на нерегульованих перетинаннях



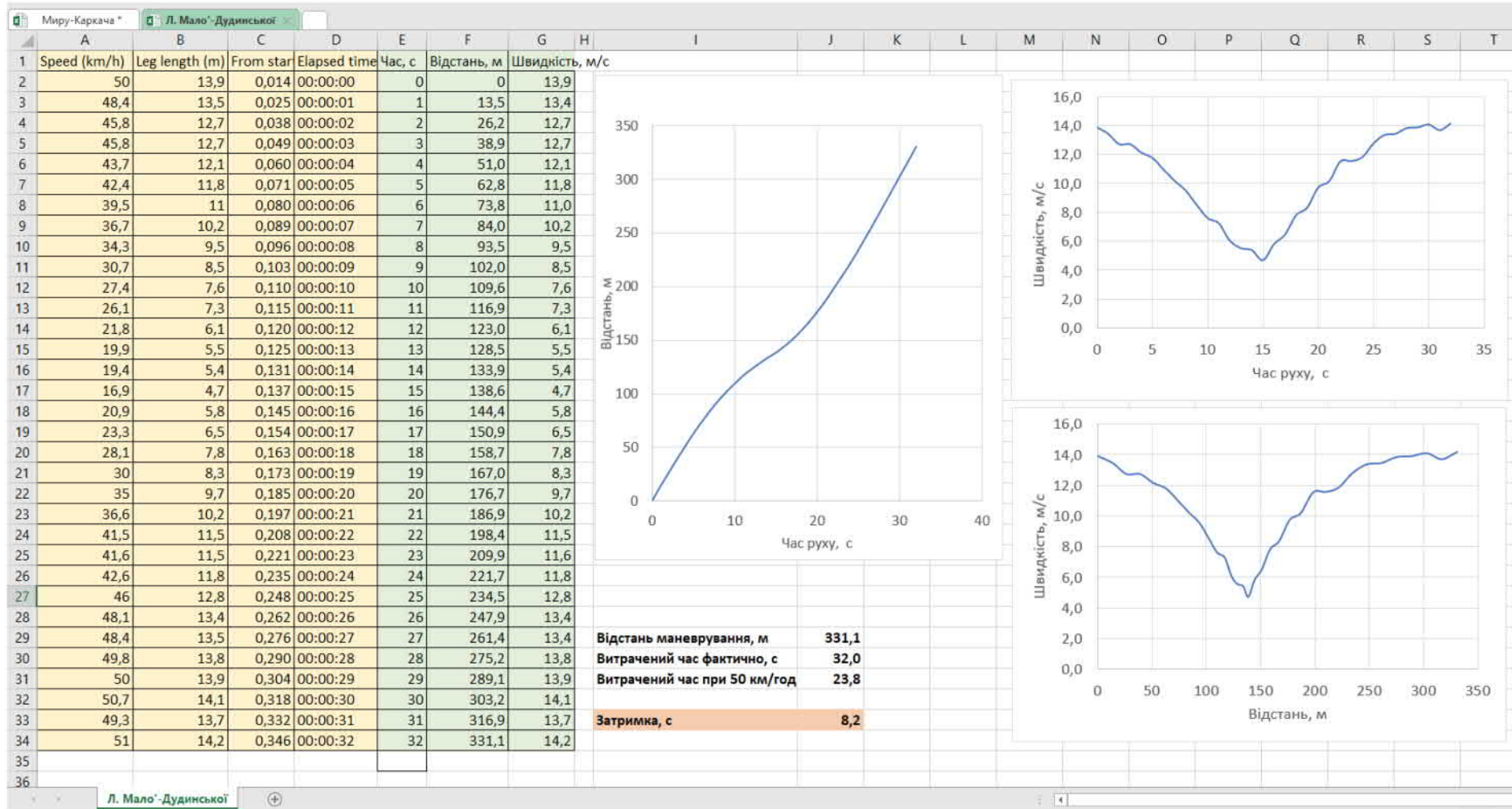
Запис режиму руху автомобіля на реальному перетинанні в м. Харкові у вигляді GPS-треку

Визначення фактичного радіусу траєкторії руху автомобіля на перетинанні



Масштаб знімку

Результати обробки експериментальних даних для одного перетинання



Співставлення експериментальних даних затримки автомобіля з аналітичної залежністю

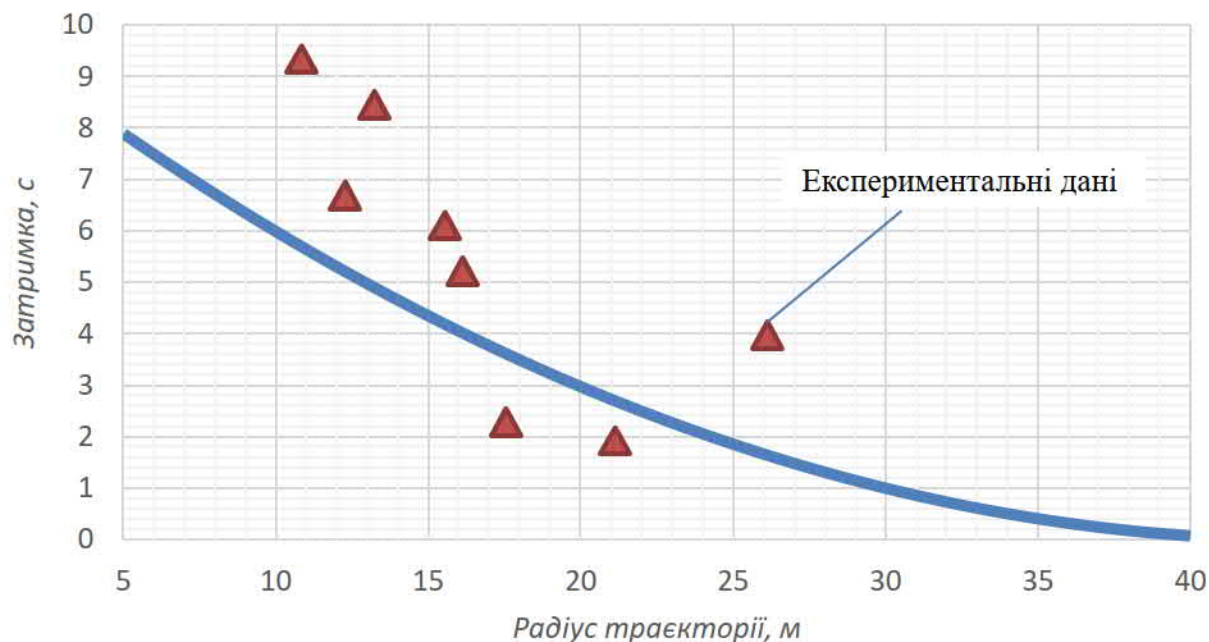
11

Результати експериментального дослідження

Номер ділянки	Напрямок повороту	Радіус траєкторії на перетинанні, м	Значення затримки руху, с
1	праворуч	13,2	8,3
2	праворуч	12,3	6,6
3	праворуч	10,8	9,1
4	ліворуч	21,3	1,9
5	ліворуч	26,2	3,9
6	ліворуч	17,6	2,2
7	праворуч	15,5	6
8	ліворуч	16,1	5,1

Оцінка кореляції між розрахунковими та експериментальними значеннями

Радіус траєкторії, м	Затримка експер., с	Затримка розрах., с		
10,8	9,1	8,7	Коеф. кореляції	0,91
12,3	6,6	8,5	Сердньокв. відх.	3,16
13,2	8,3	8,3		
15,5	6	8,2		
16,1	5,1	7,9		
17,6	2,2	7,8		
21,3	1,9	7,8		
26,2	3,9	7,8		



Залежність затримки автомобіля від радіусу траєкторії руху на перетинанні при значенні розрахункової швидкості 50 км/год

Висновки

1. Затримка транспортних засобів виступає одним з основних критеріїв, що визначають якість організації дорожнього руху. Зазвичай під цим поняттям розуміють втрату транспортного часу, яка виникає при проїзді транспортного засобу через ділянку дороги зі швидкістю, меншою за розрахункову. Одним з місць генерації затримок на міських дорогах є перетинання в одному рівні. Аналіз літературних джерел показує, що дослідженню нерегульованих перетинань надається менше уваги порівняно з регульованими. Подальші дослідження з цієї проблеми вимагають покращення методів оцінки, стандартизації даних та розробки більш точних моделей для оцінки затримок автомобілів на нерегульованих перетинах.

2. Загалом, затримка транспортного засобу при проїзді нерегульованого перетинання залежить від низької факторів, включаючи інтенсивність транспортного потоку з головного та другорядного напрямків, дорожніх умов, поведінки водія та розуміння обстановки на дорозі. Одним із можливих напрямків покращення якості організації дорожнього руху в великих містах України є зменшення затримок транспортних засобів на нерегульованих перетинаннях шляхом удосконалення геометрії перетинань.

3. Затримка автомобіля на нерегульованому перехресті з другорядного напрямку залежить від тривалості очікування водієм прийнятного інтервалу, тривалості перебування в черзі і величини зниження автомобілем швидкості руху, обумовленого гальмуванням перед перехрестям і подальшим розгоном. Геометричні параметри перетинання в першу чергу впливає на останню складову сумарної затримки та вони є головним фактором при здійсненні безконфліктного маневру на перетинанні.

4. При здійсненні безконфліктного маневру на нерегульованому перехресті затримка автомобіля виникає через зниження швидкості при русі по криволінійній ділянці. Отримані аналітичні залежності дозволяють проаналізувати вплив радіусу траєкторії руху транспортного засобу на нерегульованому перетинанні на величину затримки автомобіля, що здійснює маневрування. Було з'ясовано, що збільшення радіусу траєкторії руху на 5 метрів дає зниження затримки автомобіля при здійсненні маневру приблизно на 1,5 секунди.

5. Для оцінки ступеня адекватності аналітичної залежності затримки транспортного засобу від геометричних параметрів перетинання були проведені експериментальні дослідження, в яких методом аналізу GPS-треків визначалася фактична затримка автомобіля при проїзді різних нерегульованих перетинань. При цьому фактичні витрати часу при проїзді перетинання порівнювалися із розрахунковими значеннями, розрахованими з умови, що швидкість руху при проїзді зони перетинання залишалася б незмінною. Порівняльний аналіз показав, що запропонована в дипломній роботі залежність затримки транспортного засобу при маневруванні на нерегульованому перетинанні від радіусу траєкторії руху добре корелює з результатами експериментальних досліджень.