Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення руху на двосмуговому кільцевому перехресті (вулиць Володимира Великого – Княгині Ольги)

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МНм-62
спеціальності 275.03 Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)
(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Хміль П. Д. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Вовк Ю. Я. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Дзюра В.О. (прізвище та ініціали)
Зав. кафедри	(підпис)	Цьонь О.П. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри
_____ Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
(шифр і назва спеціальності)

студенту Хмілю Петру Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення руху на двосмуговому кільцевому перехресті (вулиць Володимира Великого – Княгині Ольги)

Керівник роботи Вовк Ю.Я., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» листопада 2023 року № 4/7-1070.
2. Термін подання студентом завершеної роботи 18.12.2023
3. Вихідні дані до роботи Інформаційні матеріали, джерела з мережі Інтернет

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Вступ. 2. Теоретичний розділ. 3. Аналітико-дослідницький розділ. 4. Проектно-рекомендаційний розділ. 5. Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. 6. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Ілюстративний матеріал

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Вовк Ю.Я., доц.		
Безпека в надзв. ситуаціях	Клепчик В. М., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання 10.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.11.23	
2	Теоретичний розділ	18.11.23	
3	Аналітико-дослідницький розділ	24.11.23	
4	Проектно-рекомендаційний розділ	30.11.23	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	5.12.23	
6	Висновки	10.12.23	

Студент _____ Хміль П. Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Вовк Ю. Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Хміль П. Д. Удосконалення руху на двосмуговому кільцевому перехресті (вулиць Володимира Великого – Княгині Ольги) – Рукопис.

Кваліфікаційні робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 275.03 – транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 2023.

Мета дослідження: Визначити критерії встановлення світлофорів на двосмугових кругових перехрестях з використанням затримок як показника ефективності.

Методи дослідження: Створення імітаційної моделі кругового перехрестя за допомогою програмного забезпечення PTV VISSIM та аналіз різних сценаріїв з урахуванням геометрії, потоку транспорту та пішоходів.

Основні результати: Встановлення порогового значення затримки для визначення необхідності встановлення світлофорів. Виявлення впливу діаметра кола, швидкості циркуляції, смуг ковзання та пішоходів на пропускну здатність та затримку на круговому перехресті.

В роботі розглянуто питання з безпеки праці в умовах воєнного стану та шляхи підвищення стійкості роботи підприємств автотранспортного профілю у воєнний час.

КІЛЬЦЕВЕ ПЕРЕХРЕСТЯ, РУХ, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, БЕЗПЕКА.

ABSTRACT

Khmil P.D. Improvement of traffic at a two-lane roundabout (intersection of Volodymyra Velykogo and Knyahyni Olhy streets) - Manuscript.

Qualifying work for the master's degree in the specialty 275.03 - transport technology (in road transport). - Ternopil Ivan Puluj National Technical University, - Ternopil, 2023.

Research objective: to determine the criteria for installing traffic lights at two-lane roundabouts using delays as an effectiveness indicator.

Research methods: creation of a simulation model of the roundabout using software and analysis of various scenarios considering geometry, traffic flow, and pedestrians.

Key findings: establishment of a threshold delay value to determine the need for traffic light installation. Identification of the impact of roundabout diameter, circulation speed, slip lanes, and pedestrians on capacity and delay at the roundabout.

The paper also addresses occupational safety issues during wartime conditions and methods to enhance the resilience of transportation-related enterprises during wartime.

The work addresses occupational safety issues during wartime conditions and methods to enhance the resilience of transportation-related enterprises during wartime.

ROUNDBALL INTERSECTION, TRAFFIC, TRAFFIC FLOW, SAFETY

ЗМІСТ

ВСТУП 9
1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ 10
1.1. Теоретичні основи кругових розв’язок 10
1.2. Ефективність та операційний аналіз сигналізованих кругових розв'язок 16
1.2.1. Рівень обслуговування 23
1.2.2. Визначення затримок 23
1.3. Переваги сигналізованих кругових розв'язок 24
2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ 27
2.1. Область дослідження 27
2.2. Моделювання 28
2.3. Калібрування та перевірка моделі 34
2.3.1. Калібрування 34
2.3.2. Перевірка даних 35
3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ 36
3.1. Результати досліджень 36
3.2. Результати моделювання 37
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 59
4.1. Безпека праці в умовах воєнного часу 59
4.2. Підвищення стійкості роботи підприємств автотранспортного профілю у воєнний час 62
ВИСНОВКИ 66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 68

ВСТУП

Кругове перехрестя – це кільцеве перехрестя, де водії рухаються проти годинникової стрілки навколо центрального острова. Ці розв'язки можуть бути вигідними порівняно зі звичайними перехрестями, оскільки покращують пропускну здатність і зменшують затори та аварійність. Але неузгоджений потік транспорту між під’їзними шляхами може значно впливати на ефективність кругових розв'язок.

Хоча встановлення світлофорів може зменшити затримки, відсутні чіткі критерії для їх розташування на кільцевих розв'язках.

Мета цього дослідження - визначити критерії встановлення світлофорів на двосмугових кругових перехрестях з використанням затримок як показника ефективності. Ці критерії застосовні для ситуацій з нерівномірним потоком транспорту та в разі неможливості додаткових смуг.

Аналіз здійснювався за допомогою програмного забезпечення PTV VISSIM шляхом створення деталізованої імітаційної моделі, відповідної геометрії і вхідного потоку. Для оцінки впливу геометрії та транспортних факторів на затори на круговому перехресті було розглянуто п'ять різних сценаріїв. Основні критерії встановлення світлофорів представлені у цьому дослідженні.

1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Теоретичні основи кругових розв'язок

Останні роки свідчать про збільшення кількості кругових розв'язок, будують їх усюди по світу. Кругові перехрестя покращують рух на дорозі та зменшують можливі конфлікти між автомобілями та пішоходами, як ілюструють рисунки 1.1 і 1.2. Крім того, добре спроектовані кругові розв'язки можуть бути естетично привабливими порівняно з іншими видами перехрестів. Також вони сприяють зниженню швидкості на перехресті, що допомагає уникнути серйозних аварій. У зв'язку з інтенсивністю руху та різними учасниками дорожнього руху, на кругових перехрестях використовують знаки та сигнали для правильної взаємодії та уникнення аварій, максимізуючи при цьому ефективність перехрестя. Розв'язка з круговим рухом має свої особливості, про які розповідає рисунок 1.3.

Дослідження показують, що кругові розв'язки збільшують пропускну здатність на 30–50% порівняно із звичайними перехрестями (FHWA, 2010). Такі перехрестя мають високий рівень безпеки: кількість аварій, у яких люди отримують серйозні травми або загибають, зменшується на 78-82% порівняно з перехрестями зі звичайною сигналізацією (FHWA, 2010). Управління круговим рухом може бути регульоване знаками або сигналами, в залежності від інтенсивності руху та конфігурації перехрестя. Пропускна здатність кругової розв'язки та її під'їздів залежить від входу, циркуляції та виходу. Мета цього дослідження - встановити критерії для встановлення світлофорів на двосмугових кругових перехрестях з використанням затримки як міри ефективності. Ми розглядали різні сценарії, щоб кількісно визначити вплив геометричних характеристик (ширина кола, кількість смуг) та параметрів руху (швидкість, інтенсивність руху, кількість пішоходів) на затори на під'їзді для кожного сегмента кругової розв'язки. Модель була створена та перевірена за допомогою програмного забезпечення VISSIM, яке базувалося на

двосмуговому круговому перехресті без сигналізації. Густота руху та геометрія доріг слугували основою для цієї мікроскопічної моделі, а затримки спостерігалися для перевірки достовірності моделі.

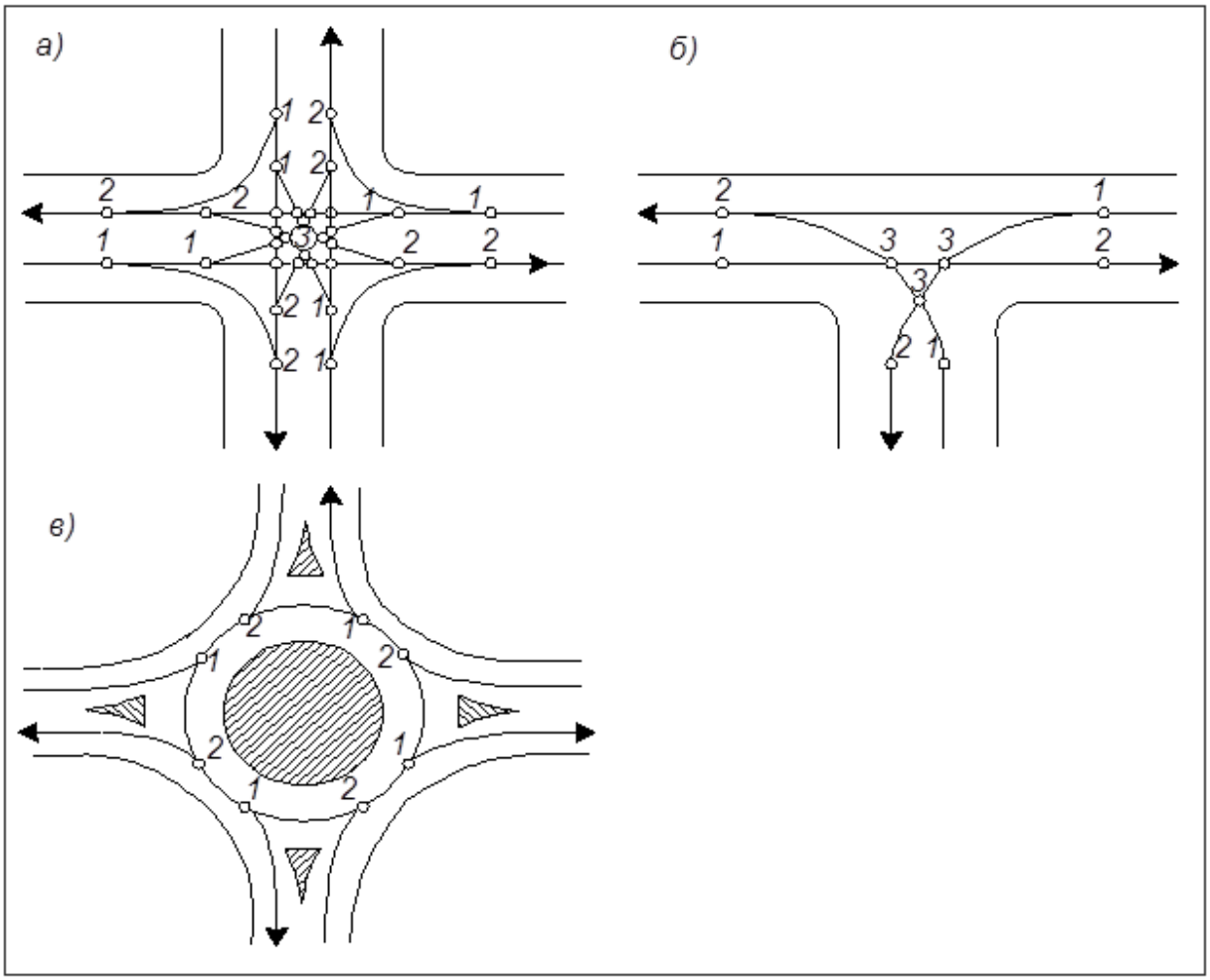

Рисунок 1.1 – Порівняння конфліктних точок на звичайному та кільцевому перехрестях

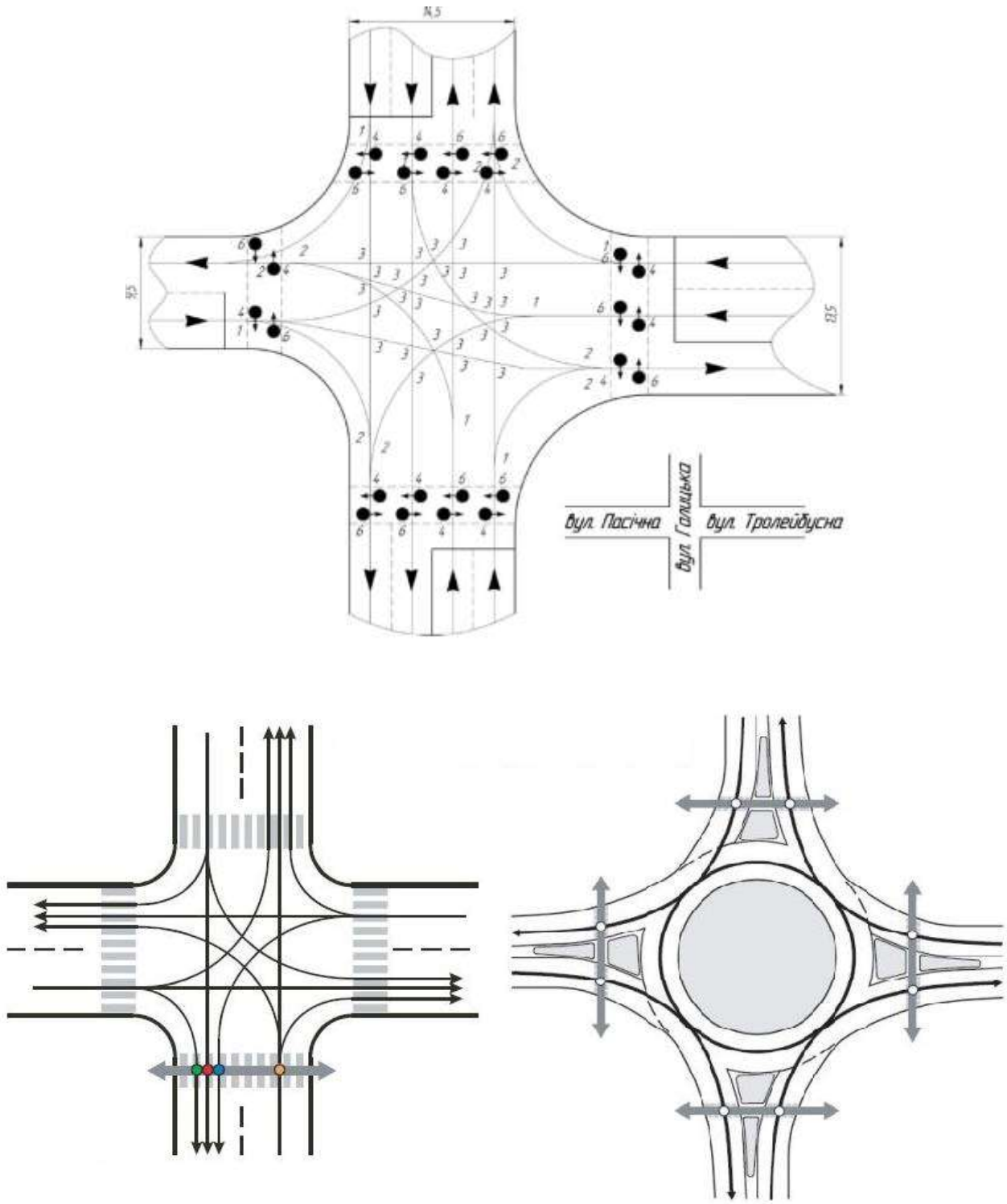

Рисунок 1.2 – Порівняння конфліктних точок між пішоходом і транспортним засобом на звичайному та кільцевому перехрестях

Рисунок 1.3 – Основні особливості перехрестя з круговим рухом

Пропускна спроможність кругового перехрестя принципово обмежена, якщо транспортні потоки незбалансовані. Це переважно у випадку, якщо один в'їзд має дуже сильний потік, а в'їзд безпосередньо перед ним на кільцевій розв'язці має легкий потік, так що сильний потік протікає практично безперервно. Це створює безперервний циркулюючий трафік, який, отже, запобігає входу трафіку на попередніх підходах. За допомогою сигналів світлофора можна створювати розриви в циркулюючому транспортному потоці та таким чином збалансувати пропускну здатність кільцевої розв'язки.

Велика інтенсивність руху на кільцевому перехресті спричиняє проблеми з навігацією та збільшує ймовірність зіткнень між транспортними засобами через різну поведінку водіїв, коли ними керують дорожні знаки. Оскільки кільцеві розв'язки створені для збільшення пропускної спроможності та зменшення конфліктів на перехрестях, високий інтенсивність руху на кільцевих розв'язках перешкоджає досягненню цілей або використанню кільцевих розв'язок для мінімізації затримок і зменшення конфлікту, тому необхідно вивчити особливості, які можна включити в кільцеві перехрестя для досягнення мети облаштування кільцевої розв'язки на перехресті, наприклад, встановлення світлофорів. У цьому дослідженні розглядається вплив геометричних

особливостей і параметрів руху на середню затримку наближення до двосмугового кільцевого перехрестя та як використання сигналів світлофора може пом’якшити цей вплив.

Основною метою даного дослідження є встановлення критеріїв встановлення сигналів регулювання дорожнього руху на кільцевому перехресті. Для досягнення цієї мети було виконано декілька завдань, як перелічено нижче:

- Провести огляд літератури.
- Отримати дані за допомогою польового дослідження.
- Створити моделі за допомогою VISSIM.
- Відкалібрувати та перевірити створену модель.
- Отримати результати моделювання різних розглянутих випадків і сценаріїв.
- Проаналізувати результати для створення критеріїв.

Це дослідження використовує затримку як міру ефективності для аналізу пропускної спроможності двосмугового перехрестя без сигналів за допомогою програмного забезпечення (VISSIM). Він враховує такі параметри руху, як об’єм транспортного засобу, об’єм пішоходів і геометричні характеристики, такі як кількість смуг руху, ширина кола, щоб встановити критерії для встановлення світлофорів на двосмугових кільцевих перехрестях, якщо на перехресті з незбалансованим транспортним потоком виникають надмірні затримки. . Аналіз застосовний до двосмугових кільцевих перехресть із обмеженням щодо збільшення кількості смуг через проблеми з перевагою. У дослідженні було використано двосмугове кільцеве перехрестя в Мічигані як тематичне дослідження зі співвідношенням інтенсивності руху головної вулиці в годину пік до 2:1. Транспортний склад моделі складається з 98% легкових автомобілів і 2% великовантажних автомобілів (HGV). Для несигналізованих перехресть використовувався як порогове значення для визначення того, коли в’їзний потік відчуває надмірну затримку, що вимагає використання сигналів світлофора для створення розривів між циркулюючими потоками. У дослідженні не обговорюються деталі часу сигналу.

Засоби керування сигналами світлофора можна поділити на три групи, а саме засоби керування, час роботи та контроль наближення. Він охарактеризував засоби контролю на перехресті з круговим рухом «як сигнальна система контролює в'їзд і виїзд транспортних засобів, що може бути прямим і непрямим керуванням». Прямий контроль впливає на внутрішні та зовнішні підходи, тоді як непрямий контроль впливає лише на зовнішні підходи. Час роботи зосереджується на періоді роботи сигналу або лічильника, який також може бути двох типів, а саме повний робочий день і половинний робочий день. Повний робочий день означає, що контроль працює постійно і не припиняє роботу в будь-який час доби, тоді як неповний робочий день означає, що сигнали активуються датчиками або часом доби. Контроль підходу описує кількість підходів, що контролюються за допомогою сигналу або лічильника, який може бути повним або частковим контролем. Повний контроль означає, що всі під'їзди до перехрестя з круговим рухом контролюються сигналами світлофора, тоді як частковий контроль просто означає, що не всі під'їзди до перехрестя з круговим рухом контролюються сигналами світлофора.

Abdelfatah and Minhans (2014) надали вказівки щодо вибору відповідного типу контролю для деяких перехресть на рівні. Було розглянуто приклад чотирикінцевого двосмугового кільцевого перехрестя та використано розподіл руху на підходах для встановлення розглянутих випадків. Synchro та Sidra використовувалися для оцінки ефективності цього дослідження. Зі своїх спостережень він дійшов висновку, що за будь-яких умов руху кільцеве перехрестя було кращим, ніж звичайне перехрестя з сигналізацією, також на кільцевому перехресті, де відсоток поворотів ліворуч становить менше 20%, а інтенсивність руху становить близько 3500 автомобілів/год.

Ян та ін. У 2004 році запропонував новий метод керування сигналами світлофора на сучасних кільцевих перехрестях через проблеми з безпекою та затори, спричинені переплетенням та злиттям транспортних засобів. Це дослідження усуває конфліктні точки та звивисті ділянки на кільцевій розв'язці з різним потоком транспорту, вводячи другу зупинкову лінію в геометричному

дизайні, як показано на Рис. 1.4. Світлофор встановлений для створення черги для руху ліворуч перед другою стоп-лінією в межах об’їзних смуг. Прикладом для цього дослідження була кільцева розв’язка в Сямень, Китай. Аналіз затримки та пропускної спроможності запропонованої роботи світлофора показав, що пропускна здатність кільцевої розв’язки зросла на 72,1%, а середня затримка транспортного засобу зменшилася на 20 секунд. У цьому дослідженні питання про пішоходів і велосипедистів не були включені в проект і конфігурацію сигналу світлофора.

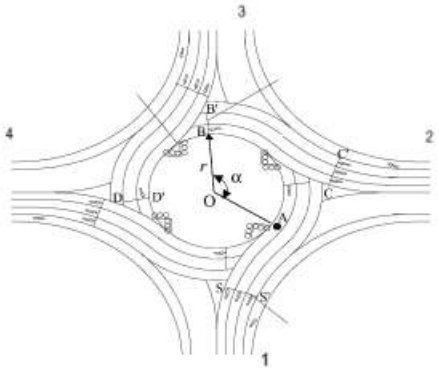

Рисунок 1.4 – Геометричний дизайн кільцевої розв’язки з покращеними налаштуваннями сигналів світлофора

1.2. Ефективність та операційний аналіз сигналізованих кругових розв'язок

Стівенс (2005) надав вказівки щодо встановлення чи вимірювання кільцевої розв’язки на основі трьох критеріїв, а саме; засоби контролю, час роботи та управління наближенням, як пояснює Hallworth (1992). Ці вказівки були розроблені на основі минулих оглядів позначених кільцевих перехресть у Сполучених Штатах, Європі та Австралії, а також на основі веб-опитувань і професійного судження. Вони були розроблені через незбалансований потік і високу швидкість циркуляції на кільцевому перехресті.

Стівенс розглядає кілька місць для дослідження, як показано в таблиці нижче, Таблиця 1.1 також описує результати дослідження та опитувань. Це дослідження було обмеженим, оскільки воно не чітко описувало різні впливи геометричних особливостей або параметрів дорожнього руху на визначення того, чи слід встановлювати світлофори на кільцевій розв'язці.

Таблиця 1.1 – Критерії кругових перехресть

Круговий або Критерій	**Системний сигнал**	**Геометрія**	**Обсяг Дизайн /Фактичний авт/год**	**ADT дизайн/ Фактичний**	**Розташування Сигнали**	**Довжина черги**	**Інший**
Чиста вода	Лічильник трафіку	Овальний 150/180м	3,655/NA	39 500/ 58000	150 до 250 від вступу		
Паркова площа, Великобританія	Сигнал	200м поперек	NA/6500		При вході		12 травмна , співвідношення підходів 3:1 в години пік
Гранвіль-сквер, Великобританія	Сигнал	Овал 70/30м	NA/350 0-4000		При вході		
вулиця Мура, Великобританія	Неповний робочий день		NA/3,300-1800 розворот		25м від входу		
Ньюбридж, Шотландія	Сигнал	60м діаметр		NA/60,000	При вході	1,5 км (макс.)	30 км/год

Akcelik (2004, 2005, 2011b) також вивчав пропускну здатність, ефективність і час сигналів вимірювання кругового руху. У своїх дослідженнях він оцінив продуктивність, потужність [затримку, довжину черги, швидкість зупинки] та час односмугових, двосмугових і трисмугових кільцевих розв'язок у різних географічних регіонах, наприклад Австралії, Великобританії та США,

через використання транспорту. вимірювальні сигнали для створення проміжків у циркулюючому потоці, а також для усунення проблеми надмірних затримок на під'їздах із більшим інтенсивністю трафіку в годину пік і для підтримки збалансованого потоку трафіку. Він описав два підходи до вимірювання кількості кільцевих розв'язок, які включали вимірюваний під'їзд та контроль підхід. Дозований підхід використовується для підходів, зупинених червоними сигналами, тоді як контрольний підхід використовується з детектором черги. Для оцінки він використав програмний пакет SIDRA intersection. Значення за замовчуванням для типового проектного параметра для вимірювання кільцевої розв'язки в Австралії були використані в моделі. У тематичному дослідженні кільцевої розв'язки Mickleham and Broadmeadows Road у Мельбурні, Австралія, Акчелік (2005) порівняв кільцеву розв'язку з вимірювальними сигналами та без них з точки зору середньої затримки, експлуатаційних витрат, споживання палива та викидів. Результати його досліджень показують, що використання вимірювальних сигналів зменшує середню затримку, загальну кількість зупинок і споживання палива, як описано в таблиці 1.2. Akçelik (2011) проаналізував швидкість потоку, що входить до взводу. Він робить висновок, що коротший час циклу дає кращу продуктивність перехрестя порівняно з довшим часом циклу, який використовується на практиці. Ці дослідження не враховували роботу або вплив інших факторів руху, таких як пішоходи, на пропускну спроможність і затримку кругового перехрестя.

Таблиця 1.2 – Аналіз пропускної спроможності та ефективності кругового перехрестя

		Потік попиту	Середня затримка	Найгірше Затримка підходу	95% Задня частина Черга	Всього Зупинки	CO2	Операційні витрати
Варіант	опис	[авто/год]	[сек]	[сек/год]	[вех]	[veh/y]	[кг/]	[$/]
1	Немає Вимірювання Сигнали	1 034 400	44.6	82.8	62	1 870 248	327 984	371,179
2	с Вимірювання Сигнали	1 034 400	37.1	52.4	37	1 479 019	311 885	343,190
	Різниця	0	-8	-30	-25	-391 229	-16 099	-27 989
	Відсоткова різниця [%]	0	16.9	36.7	40	20.9	-4,9	-7,5

Azhar і Svante (2011) досліджували контроль сигналів на кільцевих розв’язках через збільшення використання кільцевих розв’язок у містах. Щоб уникнути надмірних затримок на кільцевому перехресті, викликаних перевагою пішоходів, велосипедистів або автобусів, було запропоновано використовувати сигнали світлофора. Мета дослідження полягала в тому, щоб оцінити та порівняти різні кільцеві перехрестя з контрольованим сигналом за допомогою VISSIM 5 і TRANSYT 13 для оптимізації координованого часу сигналу. Було проаналізовано три сценарії: контроль сигналів пішохідного переходу, повний контроль сигналів на одній або двох частинах і повністю сигналізовані перехрестя з круговим рухом. Сигнальний контроль пішохідного переходу також класифікується як тип A1 (поза сигналом), коли пішохідний перехід розташований поблизу кільцевої розв’язки, і тип A2 (за сигналом), якщо розташований далеко від кільцевої розв’язки. Повний контроль сигналів ділиться на дві частини, коли «пішоходи можуть проїхати пішоходами за один крок» і «пішоходи можуть проїхати за два кроки». На рисунку 1.5 узагальнено

результати, і вони дійшли висновку, що сценарію A1 слід уникати через пропускну спроможність і безпеку, пішохідний перехід можна розташувати на відстані 22 м від перехресть з кільцевим рухом, використання шлагбаумів забезпечить більшу пропускну спроможність, якщо є необхідність у пішохідному переході, ніж без варіанту шлагбаума і повністю сигналізоване кругове перехрестя можна розглядати, якщо на всіх під'їздах є велика кількість пішоходів. У цьому дослідженні постійне значення інтенсивності пішоходів використовувалося в усіх підходах, які насправді не показують вплив змінної інтенсивності пішоходів за годину.

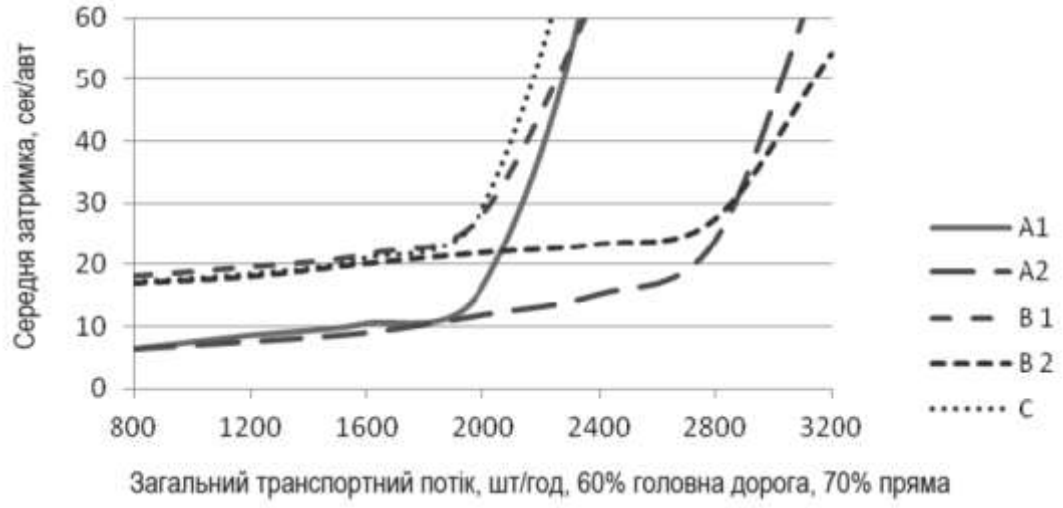

Рисунок 1.5 – Зв'язок між обсягом трафіку та середнім часом затримки для основного підходу з керуванням сигналом для всіх типів керування сигналом

Наталізіо (2005) звернувся до проблеми надмірних затримок на кільцевих перехрестях за допомогою сигналів. Він надав деякі принципи, засновані на результатах концептуального аналізу Alcelik and Associate (2001), принципи, які він окреслив, стосуються спеціально кільцевої розв'язки з однією смугою з інтенсивним потоком лише на двох відрізках. Він розглянув показники пропускної спроможності та продуктивності кільцевих перехресть в Австралії за допомогою Sidra. Рисунок 1.6 показує його спостереження. Він зауважив, що найефективніші робочі параметри вимірювальних сигналів неповного часу є, коли відстань детектора черги становить 60 метрів, мінімальний час порожнього

20 секунд і мінімальний час червоного 20 секунд, оскільки незначний мінімальний час червоного має менший вплив на пропускну здатність і продуктивність. виміряного підходу, ніж більший мінімальний час порожнього виходу та більша відстань детектора черги. Вимірювання односмугового кільцевого перехрестя потрібне, коли загальний об’єм затримки наближається, а циркуляційний потік становить від 1300 до 1400 авт/год. У цьому дослідженні розглядалося лише односмугове кільцеве перехрестя, пропускна здатність односмугового кільцевого перехрестя не може чітко ілюструвати пропускну спроможність багатосмугового кільцевого перехрестя, необхідно буде розглянути більше випадків, які включають різноманітні геометричні особливості, такі як багатосмугові кільцеві розв’язки та параметри руху.

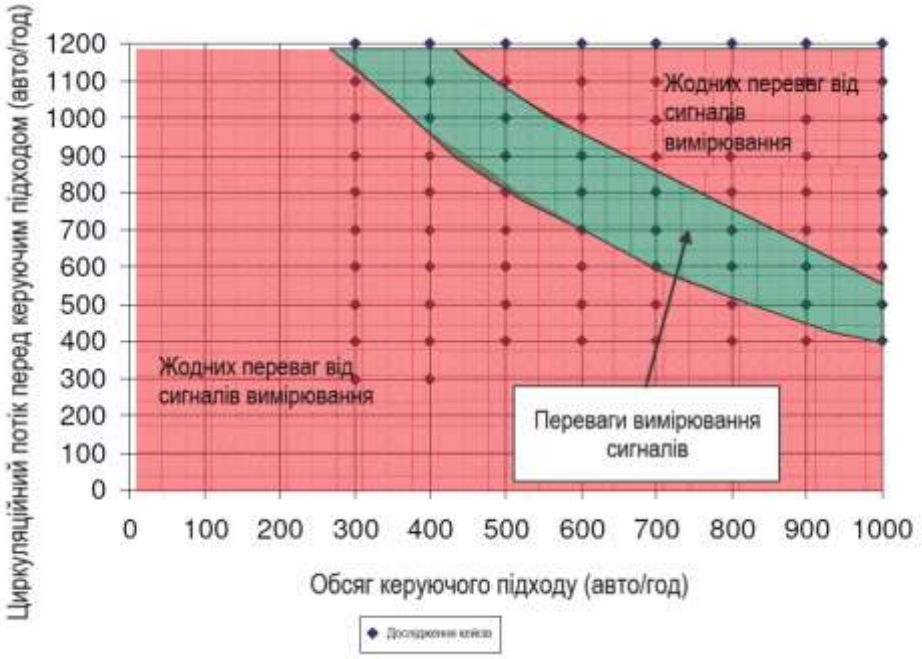

Рисунок 1.6– Переваги вимірювання сигналів

Гасулла та ін. (2016a) також вивчали потужність і операційні вдосконалення вимірювання

Карусель в Іспанії. Це дослідження було зосереджено на «аналізі покращення роботи та пропускної спроможності на приміських кільцевих перехрестях із вимірювальними сигналами за допомогою мікромоделювання руху для

Іспанські місцеві умови», ця пропускна спроможність була оцінена з Посібника з пропускної спроможності магістралей для LOS F, а також середня затримка. Модуль VisVAP у VISSIM використовувався для створення моделі мікросимуляції дорожнього руху, у цю модель були включені правила пріоритету для спостереження за поведінкою водія. Пріоритетні правила, такі як зона руху та обмеження швидкості, були введені в модуль. Дослідження проводилося в годину пік (7:30-9:30)у робочий день, ручний і відеозапис проводився кожні 5 хвилин, щоб спостерігати за потоком транспортних засобів. Середню затримку конфліктного підходу було нанесено на графік відносно швидкості потоку на вході, як показано на рисунку 1.7. З результатів він зробив висновок, що подальший прогрес має бути змінним, він також зазначив, що вимірювання кільцевої розв'язки значно збільшило пропускну здатність і зменшило затримки на кожному вході. У цьому дослідженні взаємодія між різними учасниками дорожнього руху, такими як велосипедисти та пішоходи, не враховувалися при їх оцінці.

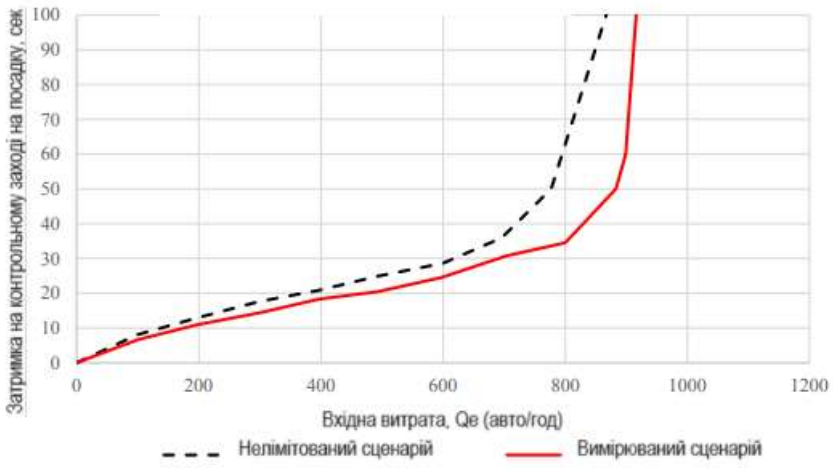

Рисунок 1.7 – Затримка проти швидкості потоку на вході

1.2.1. Рівень обслуговування

Рівень обслуговування – це показник якості, що описує робочі умови в межах потоку трафіку, як правило, з точки зору таких показників обслуговування, як швидкість і час у дорозі, свобода маневру, перебої в русі, а також комфорт і зручність (HCM, 2016). Рівень обслуговування класифікується в HCM на шість рівнів, від A до F, де A означає найкращу продуктивність, а F – найгірший випадок. Це функція швидкості потоку та відповідної затримки керування. Таблиця 1.3 описує рівень обслуговування як для неукріплених перехресть, так і для кругових розв'язок.

Таблиця 1.3 – Рівень обслуговування для несигналізованих перехресть

Рівень обслуговування	Середня затримка керування [с/год]
A	0-10
B	>10-15
C	>15-25
D	>25-35
E	>35-50
F	>50

1.2.2. Визначення затримок

Затримка – це міра додаткового часу до загального шляху транспортного засобу, що рухається від пункту відправлення до пункту призначення, який може бути спричинений швидкістю прискорення чи уповільнення, вузьким місцем і пристроями контролю руху. Існують різні типи затримки, як описано нижче (Tom & Bombay, 2014):

- Затримка часу зупинки описується як час, протягом якого транспортний засіб зупиняється в черзі під час очікування проїзду через перехрестя. Він починається, коли транспортний засіб повністю зупинений, і зупиняється в момент прискорення водія.

- Затримка на підході — це комбінація затримки часу зупинки та втрати часу через уповільнення від швидкості наближення до зупинки та втрати часу через повторне прискорення назад до проектної або бажаної швидкості.
- Затримка в дорозі – це додатковий час до очікуваного водієм часу в дорозі через перехрестя або від певного пункту відправлення до пункту призначення.
- Час затримки в черзі – це загальний час, витрачений на те, щоб транспортний засіб приєднався до черги на перехресті до його виїзду через стоп-лінію на виїзді.
- Затримка контролю – це затримка через тип пристрою регулювання дорожнього руху, який використовується на цьому перехресті, або сигнал світлофора, або знак стоп. Це сума затримки часу в черзі плюс компонент затримки прискорення-уповільнення.

1.3. Переваги сигналізованих кругових розв'язок

Tracz і Chodur (2012) вивчали ефективність і безпеку кругових перехресть із сигналами світлофора. У цьому відношенні було окреслено дизайн, переваги та обмеження використання сигналізованого кругового перехрестя в міській місцевості. Було розглянуто багатосмугове кільцеве перехрестя з чотирма ногами, розташоване в Кракові. Одна із зазначених проблем полягає в тому, що робота кругового перехрестя з двофазним сигналом завжди призводить до наїзду на пішоходів і повороту ліворуч. У зв’язку з перевантаженням циркуляційного об’єму в межах кола при використанні двофазної системи сигналізації було розглянуто налаштування багатофазного світлофора, а також порівняння з несигналізованими кільцевими перехрестями. Результати показують, що налаштування багатофазного сигналу світлофора можуть усунути перевантаження центрального острівця, але спричиняють більшу затримку до

входу в потік. Вони дійшли висновку, що перехрестя з круговим сигналом є корисним, коли є велика інтенсивність руху з великим поворотом ліворуч.

Розв'язки з круговим рухом допомагають підвищити безпеку пішоходів. Стоун та ін. (2002) розглянули вплив кругових перехресть на безпеку пішоходів. Ця робота оцінює вплив сучасного кільцевого перехрестя на пішохода порівняно зі звичайним перехрестям. До цієї оцінки підходили трьома способами: статичним аналізом, моделюванням і практичним дослідженням перехрестя Хіллсборо-Горн-стріт на

Університет штату Північна Кароліна в Ролі. Результати цього аналізу показують, що кругове перехрестя покращує безпеку пішоходів на перехресті, зменшуючи швидкість, конфліктні зони та забезпечуючи зону притулку для пішоходів.

Бен-Едігбе та ін. (2012) вивчали ступінь затримки та рівень обслуговування на перехрестях з круговим рухом. Їхнє дослідження спрямоване на визначення «якості обслуговування автомагістралі на кільцевому перехресті з сигналізацією» за допомогою досліджень затримок. Ручне обчислення затримки та черги, як зазначено в Керівництві з пропускної спроможності автомагістралей [HCM], було використано для порівняння результатів із вихідними даними затримки та пропускної здатності, отриманими від ARCADY, і затримкою та довжиною черги від TRANSYT. Було зроблено висновок, що сигналізована кільцева перехрестя є вигідною, коли транспортний потік великий і є проблеми з безпекою, а також коли велика затримка на під'їзді, оскільки це допомагає збалансувати затримку на різних відрізках.

Швидкість руху на кільцевому перехресті є функцією радіуса кільцевого перехрестя. Радіус вписаного кругового перехрестя вимірюється від центру кола до центру внутрішньої смуги руху. Взаємозв'язок кривої швидкості обчислюється, як показано нижче:

$$B = \sqrt{15R(e + f)} \quad \text{.....(1)}$$

Де V = розрахункова швидкість (км/год)

R = радіус (м)

e = висота

f = коефіцієнт бокового тертя (отримано з Рис. 1.8)

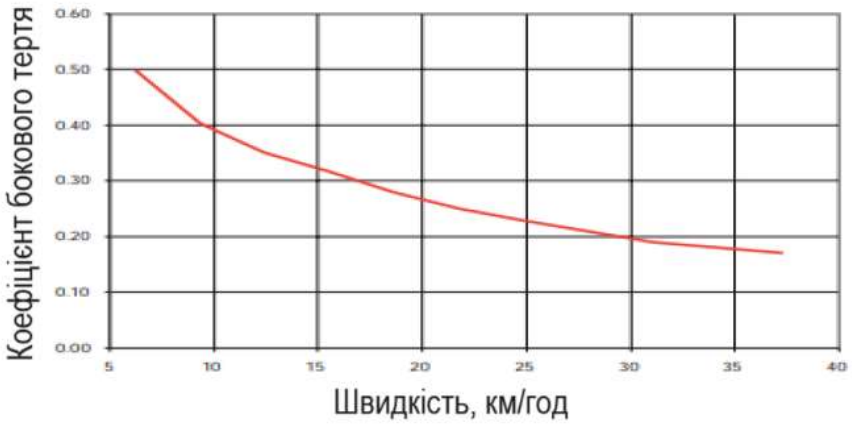

Рисунок 1.8 – Коефіцієнти бокового тертя при різних швидкостях

2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Область дослідження

Область дослідження була обрана на основі оглядів різних кільцевих розв’язок. Для аналізу було розглянуто двосмугове кільцеве перехрестя. Прикладом для цього дослідження було двосмугове кільцеве перехрестя за адресою вулиць Володимира Великого – Княгині Ольги, м. Львів. Це двосмугове кільцеве перехрестя з чотирма під’їздами, як показано на рисунку нижче. Швидкість підходу до головної вулиці становить 45 км/год, а до бічної вулиці – 35 км/год.

Рисунок 2.1 – Кільцева розв’язка вулиць Володимира Великого – Княгині Ольги

Було проведено польове дослідження, щоб ознайомитися з кільцевими перехрестями для кращого розуміння та оцінки того, як вони працюють, і допомогти у розробці критеріїв. Характеристики досліджуваної території (такі як геометрія дороги та підрахунок трафіку) для моделювання були отримані за допомогою лічильників і відеокамери.

Обсяги трафіку були зібрані для робочого дня (четвер) у час-пік (17:30 – 18:30). Було три спостерігачі, які здійснювали облік об'ємів повороту транспортних засобів на різних підходах.

Для цього перехрестя також було проведено дослідження затримки наближення за допомогою секундоміра. Час руху транспортних засобів на відстані приблизно 150 м від стоп-лінії на різних відрізках було отримано для часу непікового (15:05 – 15:55) і часу-пік (16:45 – 17:25). Середня затримка була обчислена за допомогою формули 2.1:

$$\text{Середня затримка підходу} = \frac{\sum\left[x_j - \frac{\sum x_i}{n_i}\right]}{n_j} \quad (2.1)$$

Де x_i = середній час у дорозі для години пік

x_j = час у дорозі для години пік

n_i – кількість проб у годину поза піком

n_j = кількість проб для години пік PM

2.2. Моделювання

На основі інтенсивності трафіку вибраної досліджуваної області та геометрії доріг у VISSIM були створені мікроскопічні моделі для спостереження за різними параметрами, такими як затримка та затримка в черзі. За допомогою моделювання були отримані результати затримок і затримок у черзі, які використовувалися для порівняння варіацій затримок для різних випадків і сценаріїв, розглянутих у цьому дослідженні.

Моделювання триває годину (тобто 3600 секунд). Дані отримували кожні 20-секундний інтервал моделювання, генеруючи 180 значень для загальної тривалості моделювання. Час у дорозі використовувався для спостереження за затримкою, а затримку в черзі було отримано шляхом встановлення точок збору даних для кожного підходу до перехрестя. Середнє значення результатів моделювання було обчислено за допомогою формули 2.2:

Середня затримка підходу або затримка в черзі $= \frac{\sum x_{i-j}}{n}$ ……(2.2)

x_{i-j} = середня затримка за період від i до j

n = загальна кількість спостережуваних значень

Поріг у 50 секунд, як зазначено в для рівня обслуговування F, використовувався як обмеження для середньої затримки заходу на посадку. Моделювання було розділено на різні випадки на основі геометричного дизайну та особливостей руху, як описано нижче.

Випадок 1: базовий сценарій зі збільшенням обсягу трафіку.

Це складається з моделі базових умов для вибраної досліджуваної області та створених інших сценаріїв шляхом збільшення обсягу руху для різних підходів до кільцевої розв’язки. Правила швидкості, прогресу та пріоритету залишаються незмінними для всіх сценаріїв. Транспортний склад моделі складається з 98% легкових автомобілів і 2% великовантажних автомобілів (HGV).

Випадок 2: Зв’язок між швидкістю руху та радіусом кільцевої розв’язки.

При розробці цього випадку геометричні характеристики були змінені шляхом зменшення швидкості циркулюючого транспорту та ширини кільцевої розв’язки за допомогою співвідношення кривої швидкості для визначення швидкості в межах кола по відношенню до радіуса кола, як зазначено в рівнянні 1. Було використано перевищення (e) 0,08, а бокове тертя було отримано за допомогою рисунку 2.2. Діаметр було обчислено за допомогою рівняння 2.3.

Таблиця 2.1 описує діаметр кільцевих розв’язок відносно швидкості руху, яка використовується для розгляду різних випадків для цього випадку.

Вписаний діаметр

$$D = 2(R + 1{,}5W) \quad \text{(2.3)}$$

Де D = вписаний діаметр (м)

R = радіус кола (м)

W = ширина смуги (м)

Таблиця 2.1 – Швидкість обертання та відповідна ширина

Діаметр вписаного кола, м	Швидкість, км/год
110	15
145	15
145	25
240	30

Випадок 3: Різна кількість пішоходів і різна кількість транспорту.

Змінний об’єм пішоходів із різними об’ємами транспортних засобів були включені в модель, щоб спостерігати за впливом пішоходів на затримку транспортних засобів для різних підходів. Пішохідний перехід розміщується на відстані 20 м від лінії поступу. Згідно з польовими спостереженнями відсутності пішоходів, моделювання для базового сценарію не включало пішоходів. Однак, щоб спрогнозувати вплив пішоходів, кількість пішоходів у наступних сценаріях моделювання змінювалася від 60 осіб/год до 400 осіб/год. Було прийнято, що пішоходи рівномірно розподіляються навколо кільцевої розв’язки, тобто пішоходи рухаються з північно-західного положення на південний, південний захід, північний захід або навпаки, як показано на рисунку 2.2. Швидкість пішохода коливається від 0,97 м/с до 1,62 м/с для чоловіків і 0,71 м/с – 1,19 м/с для жінок.

Рисунок 2.2 – Взаємодія між транспортними засобами та пішоходами на кільцевій розв’язці

Випадок 4: Використання сигналів світлофора на двосмуговій кільцевій розв’язці.

У цьому випадку сигнал світлофора використовувався для керування в’їзним потоком на кільцевій розв’язці замість зупиночних смуг, використаних у випадку 1. Контролер кільцевого бар’єру використовувався у VISSIM для налаштування часу руху. З сигналами світлофора використовувалися сповіщувачі. На рисунках 2.3, 2.4 нижче показано конфігурацію світлофора. Час руху було отримано з типових проектних і контрольних параметрів для об’їзних вимірювальних сигналів (Alcelik, 2005). Мінімальний зелений час для головної та бічної вулиці коливається від 20 до 50 секунд, жовтий час для головної та бічної вулиці становить 3 секунди та 4 секунди відповідно, а повністю червоний час для всіх вулиць становить 1 секунду. Відстань детектора становить 7,5 м для бічної вулиці та 60 м для головної вулиці, як показано на рисунку 2.5.

Рисунок 2.3 – Синхронізація сигналів світлофора за допомогою контролера кільцевих бар’єрів

Рисунок 2.4 – Конфігурація сигналу світлофора

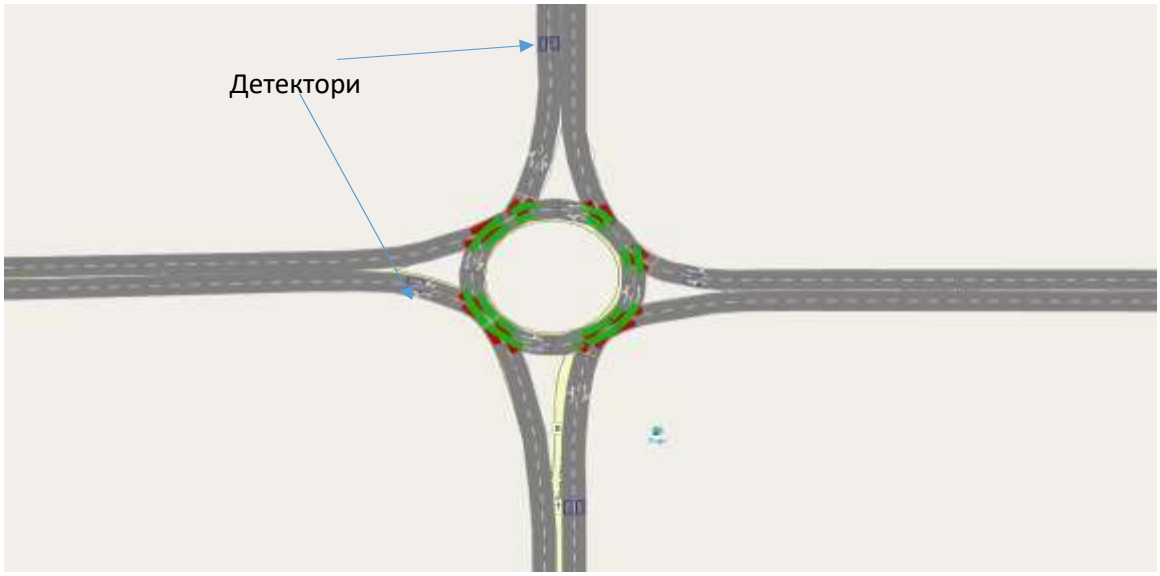

Рисунок 2.5 – Розташування детектора у створеній моделі

Випадок 5: об’єднання смуг для роз’їзду до двосмугової кільцевої розв’язки.

Випадок 5 розглядає вплив геометричних особливостей на затримку заходу на посадку шляхом введення смуги ковзання до заходу на посадку, який має більшу затримку та враховується для всіх заходів на посадку, як показано на рисунках 2.6 та 2.7 відповідно. Вхідні дані та характеристики трафіку залишаються такими ж, як і у випадку 1. Додаткові сценарії (11 – 14) були розглянуті шляхом збільшення обсягів трафіку різних підходів на 100 авт/год.

Рисунок 2.6 – Додавання смуги до головної вулиці

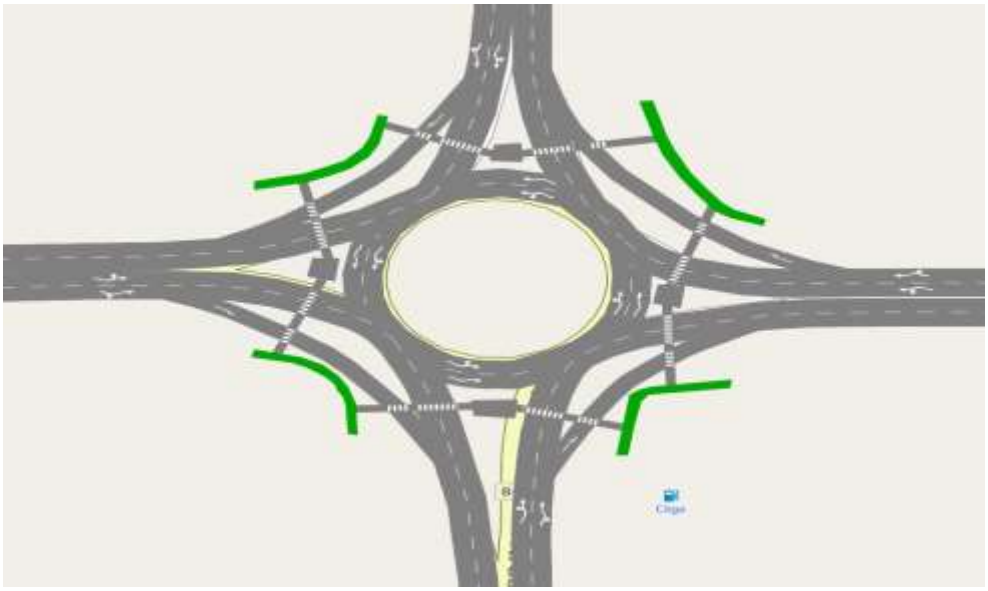

Рисунок 2.7 – Додавання смуги ковзання до всіх під’їздів

2.3. Калібрування та перевірка моделі

2.3.1. Калібрування

Під час створення моделі у VISSIM було введено деякі параметри, щоб налаштувати модель для імітації точних базових умов, таких як маркери конфліктів, бажана швидкість, зони зниженої швидкості, стоп-лінія та рішення про маршрут транспортного засобу. Мітки конфлікту допомагають встановити пріоритет для транспортних засобів, які в’їжджають у коло, розходяться чи зливаються. Стоп-лінія встановлюється на кожному під'їзді, щоб дозволити в'їжджаючим транспортним засобам поступатися руху, що рухається по колу.

Зелено-червона область позначає конфліктні зони, зелений колір вказує на те, що пріоритет надається транспортному засобу, який рухається по колу, як показано на рис. 2.8. Область, виділена жовтим, показує зони зниженої швидкості.

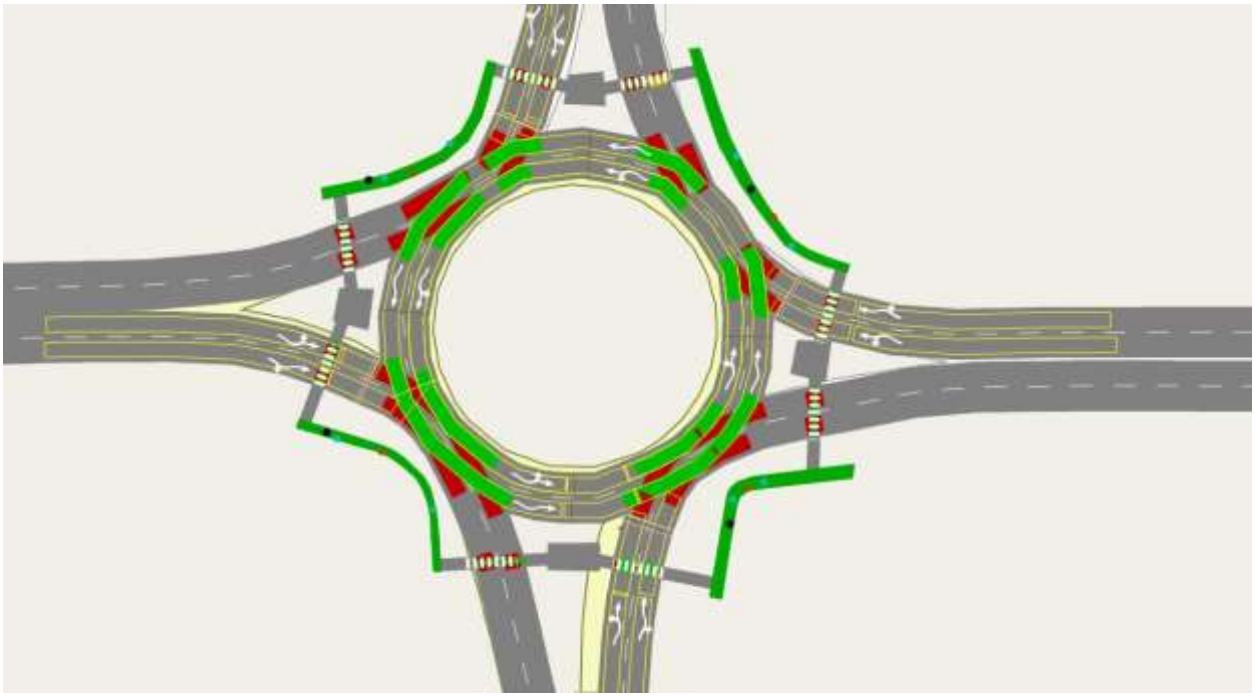

Рисунок 2.8 – Правила пріоритету та зони зниженої швидкості

2.3.2. Перевірка даних

Результати затримки в результаті моделювання були перевірені з використанням спостережуваних значень, отриманих у ході досліджень затримки в полі. Для статистичної перевірки використовувався t-тест чи є значна різниця між середніми даними, отриманими з поля, і вихідними даними моделі.Наступні гіпотези були перевірені з 95-відсотковим рівнем довіри:

Нульова гіпотеза H_o: $\mu_{мод} = \mu_{поле}$

Альтернативна гіпотеза H_a: $\mu_{мод} \neq \mu_{поле}$

$\mu_{мод}$ є середнім значенням спостережуваних значень із імітаційної моделі, тоді як $\mu_{пол}$ представляє середнє значення значень, отриманих під час польового дослідження. Ми відхиляємо нульову гіпотезу, якщо p-значення менше 0,05, і віддаємо перевагу H_a і не відхиляємо нульову гіпотезу, якщо p-значення більше ніж 0,05.

3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Результати досліджень

Було проведено дослідження підрахунку трафіку, щоб отримати фактичні обсяги трафіку в годину пік ввечері для досліджуваної області. Під час дослідження дорожнього руху пішоходів і велосипедистів не спостерігалося. Таблиці 3.1 і 3.2 показують дані підрахунку трафіку, отримані в результаті польового дослідження. Загальна кількість трафіку в години пік на цьому перехресті становила 1075 авт/год. Співвідношення загальних об'ємів головної вулиці до бічної вулиці було 2:1 – головна вулиця мала більшу годинну інтенсивність руху, ніж бічна вулиця.

Таблиця 3.1 – Інтенсивність руху

Інтервал		Головна вулиця, авт/год							
		SB				NB			
Початок	Кінець	Направо	Прямо	Вліво	u-поворот	Направо	Прямо	Вліво	u-поворот
17:30	17:45	11	33	10	1	67	54	46	4
17:45	18:00	12	28	1	0	53	32	41	1
18:00	18:15	11	41	4	1	50	28	42	0
18:15	18:30	5	20	5	0	52	30	36	0
Всього		39	122	20	2	222	144	165	5
Всього за підхід, авт/год		183				536			
Всього головна вулиця, авт/год		719							

Таблиця 3.2 – Інтенсивність руху

Інтервал			Бічна вулиця авт/год						
			WB			EB			
Початок	Кінець	Направо	Прямо	Вліво	U-Поворот	Направо	Прямо	Вліво	U-Поворот
17:30	17:45	8	25	36	0	14	11	4	0
17:45	18:00	9	18	29	0	4	10	1	0
18:00	18:15	2	21	36	0	13	11	3	0
18:15	18:30	6	27	36	0	16	12	4	0
Разом		25	91	137	0	47	44	12	0

Всього за підхід, авт/год		253	103
Всьогобічна вулиця, авт/год		356	

У таблиці 3.3 наведено середню затримку транспортного засобу на підхід, отриману в результаті польового дослідження з використанням рівняння 2. Спостережувані значення показують, що транспортні засоби, які рухаються на північ (NB), зазнають більшої затримки, ніж інші заходи. Загалом на головній вулиці спостерігаються більші затримки транспортних засобів, ніж на бічній, і середня затримка на під'їзді до цієї кільцевої розв'язки становить приблизно 8 секунд.

Таблиця 3.3 – Результати затримки польового дослідження

Підхід	Середня затримка, сек
WB	6,08
EB	6,22
SB	7,87
NB	9,30
Середнє значення	7,39

3.2. Результати моделювання

Випадок 1: Базовий сценарій зі збільшенням обсягів трафіку

Спочатку було змодельовано базовий стан. Потім було змодельовано сім інших сценаріїв шляхом збільшення обсягів трафіку базового сценарію для кожного з підходів на 50 авт/год. Таблиця 3.4 підсумовує збільшення обсягів трафіку для створених сценаріїв і загальний годинний обсяг трафіку для кільцевої розв'язки. Після отримання результатів для сценаріїв з 1 по 7 середнє порогове значення затримки в 50 секунд було використано для подальшого розподілу обсягів трафіку з метою отримання ближчого середнього значення

затримки на підході для розглянутих сценаріїв. Додаткові сценарії були створені, як описано в таблиці 3.5.

Таблиця 3.4 – Розподіл обсягу трафіку для кожного сценарію

Сценарії		Обсяги трафіку авт/год			Всього Вхід
	SB	NB	WB	EB	Потік авт/год
БАЗА	183	536	253	103	1075
S1	233	586	303	153	1275
S2	283	636	353	203	1475
S3	333	686	403	253	1675
S4	383	736	453	303	1875
S5	433	786	503	353	2075
S6	483	836	553	403	2275
S7	533	886	603	453	2475

Таблиця 3.5 – Обсяг трафіку для додаткових сценаріїв

Сценарії	Опис	Підрахунок трафіку, авт/год				Всього, авт/год
		SB	NB	WB	EB	
S8	S4+25	408	761	478	328	1975
S9	S5+10	443	796	513	363	2085
S10	S5+20	453	806	523	373	2095

Середня затримка на під’їзді або контролі – це затримка перед перехрестям і складається з додаткового часу до часу руху транспортного засобу через прискорення та уповільнення під час наближення до перехрестя з кільцевим рухом і додаткового часу через зупинку або зупинку транспортних засобів у черзі на цьому під’їзді. Затримка в черзі - це додатковий час через наявність транспортних засобів у черзі на певному підході. Таблиця 3.6 показує середню затримку та затримку в результатах черги на підхід (тобто на північ (NB), на південь (SB), на схід (EB) і на захід (WB)). Також були розраховані мінімальне та максимальне значення середньої затримки підходу та затримки в черзі. Було помічено, що середня затримка на підході становила найбільшу частину затримки в черзі на кільцевому перехресті.

Таблиця 3.6 – Результат для базової умови

Підхід	Середня затримка, сек			Середня затримка в черзі, сек		
	AVE	XB	МАКС	AVE	XB	МАКС
WB	7,2	0,0	16,8	3,9	0,0	13,4
EB	5,9	0,0	20,2	4,1	0,0	18,3
NB	10,4	3,2	29,0	7,9	0,0	27,9
SB	7,1	5,9	21,0	4,2	1,5	9,4
Середнє зн.	7,6			5,0		

На рисунку 3.1 графічно показані відмінності між середніми затримками на підході, отриманими в результаті польового дослідження та створеної моделі. Можна помітити, що суттєвих відмінностей між набором даних немає.

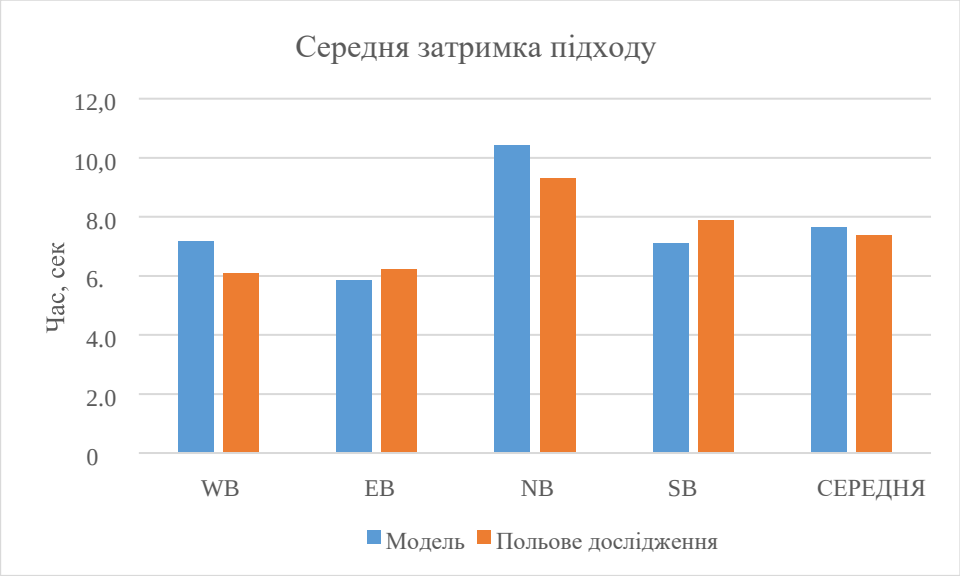

Рисунок 3.1 – Порівняння результатів модельного та польового дослідження

Використовуючи t-критерій для перевірки подібності між середніми значеннями, отриманими з імітаційної моделі та польового дослідження з урахуванням 95% рівня довіри, отримані p-значення для східного, західного, північного та південного напрямків становлять 0,78, 0,24, 0,34 та 0,68. , відповідно. P-значення при врахуванні затримок усіх підходів разом становить 0,41. Результати t-тесту для всіх підходів і комбінації підходів представлені в таблицях 3.7 до 3.11. Усі p-значення більші за 0,05, тому ми не можемо відхилити

нульову гіпотезу, як описано раніше в методології. Тому отримані середні значення статистично подібні.

Таблиця 3.7 – Т-тест: дві вибірки з припущенням нерівних дисперсій для підходу на схід

	Імітаційна модель	Польове дослідження
Середній	5,86	6,22
Дисперсія	5,02	15,61
Спостереження	87	10
Гіпотетична середня різниця	0	
df	10	
$t_{стат}$	-0,29	
P(T<=t) двохвостий	0,78	
t Критичний двосторонній	2,23	

Таблиця 3.8 – Т-тест: два зразки за умови нерівних дисперсій для західного підходу

	Імітаційна модель	Польове дослідження
Середній	7,18	6,08
Дисперсія	3,89	18,81
Спостереження	142	23
Гіпотетична середня різниця	0	
df	23	
t Стат	1,19	
P(T<=t) двохвостий	0,24	
t Критичний двосторонній	2,07	

Таблиця 3.9 – Т-тест: два зразки за умови нерівних дисперсій для підходу на північ

	Імітаційна модель	Польове дослідження
Середній	10,43	9,30
Дисперсія	20,06	26,63
Спостереження	176	22
Гіпотетична середня різниця	0	
df	25	
t Стат	0,98	
P(T<=t) двохвостий	0,34	
t Критичний двосторонній	2,06	

Таблиця 3.10 – Т-тест: два зразки з припущенням нерівних дисперсій для південного підходу

	Імітаційна модель	Польове дослідження
Середній	7,09	7,87
Дисперсія	3,30	46,26
Спостереження	121	14
Гіпотетична середня різниця	0	
df	13	
t Стат	-0,42	
P(T<=t) двохвостий	0,68	
t Критичний двосторонній	2,16	

Таблиця 3.11 – Т-тест: два зразки за умови нерівних дисперсій з урахуванням усіх підходів

	Імітаційна модель	Польове дослідження
Середній	8,03	7,49
Дисперсія	12,42	27,22
Спостереження	526	69
Гіпотетична середня різниця	0	
df	76	
t Стат	0,83	
P(T<=t) двохвостий	0,41	
t Критичний двосторонній	1,99	

Імітаційна модель не могла обробити весь обсяг трафіку для підходу на північ (NB) для деяких сценаріїв, оскільки введений обсяг трафіку був більшим, ніж він міг обробити протягом заданого періоду часу, це зменшило загальні обсяги трафіку для сценаріїв, на які впливає. Таблиця 3.12 показує підсумок обсягу трафіку, який не змодельований, і новий обсяг трафіку для кожного сценарію.

Таблиця 3.12 – Кількість автомобілів, не змодельованих за сценарієм

	NB, авт/год			ВСЬОГО авт/год
Сценарії	номери Автомобілі Ні Імітація	Введений обсяг	Змодельовані номери автомобілів	
БАЗА	0	536	536	1075
S1	0	586	586	1275
S2	0	636	636	1475
S3	0	686	686	1675
S4	0	736	736	1875
S5	12	786	774	2063
S6	74	836	762	2201
S7	143	886	743	2332
S8	0	761	761	1975
S9	18	796	778	2067
S10	32	806	774	2063

Таблиці 3.13 показують середню затримку на підхід і середню затримку підходу для різних сценаріїв, що розглядаються шляхом збільшення обсягів трафіку базового сценарію у випадку 1. Також було розраховано середню затримку для бічної вулиці та головної вулиці. Отримані результати показують, що збільшення обсягів трафіку збільшує середню затримку підходу для кожного зі сценаріїв.

Таблиця 3.13 – Підсумок затримки підходу для різних сценаріїв

Сценарій	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	Середня Підхід Затримка авт/год	Середня Головна Вулицяавт/год	Середня Бік Вулицяавт/год
БАЗА	7,2	5,9	10,4	7,1	7,6	8,8	6,5
S1	8,2	6,5	11,9	7,5	8,5	9,7	7,4
S2	8,8	6,7	14,8	8,4	9,7	11,6	7,7
S3	10,0	7,5	19,5	9,4	11,6	14,5	8,8
S4	13,2	8,9	49,4	11,6	20,8	30,5	11,1
S5	14,8	10,4	137,0	14,7	44,2	75,8	12,6
S6	21,5	13,8	207,3	45,8	72,1	126,5	17,6
S7	38,1	16,7	230,1	138,3	105,8	184,2	27,4
S8	13,2	9,7	95,0	14,3	33,1	54,7	11,4
S9	16,0	11,3	158,7	22,0	52,0	90,3	13,7
S10	16,0	11,4	181,6	18,0	56,7	99,8	13,7

З рисунка 3.2 можна помітити, що на кільцевій розв’язці спостерігається незбалансований потік, на головній вулиці спостерігається більше затримок через більший інтенсивність руху. Тоді, чим вищий загальний вхідний потік, тим більша затримка. На рисунку 3.3 показано поступове збільшення середнього підходу та відповідного потоку на вході. Враховуючи 50 секунд як прийнятний поріг для несигналізованого перехрестя для LOS F, відповідний загальний обсяг в'їзду становить 2085 авт/год. Це означає, що на неувімкненому двосмуговому кільцевому перехресті в годину пік інтенсивність руху перевищує 2085 транспортних засобів/год. Можна отримати середню затримку на під’їзді на чотирикінцевій двосмуговій кільцевій розв’язці, простеживши загальний об’єм в’їзду та отримавши відповідне значення середньої затримки.

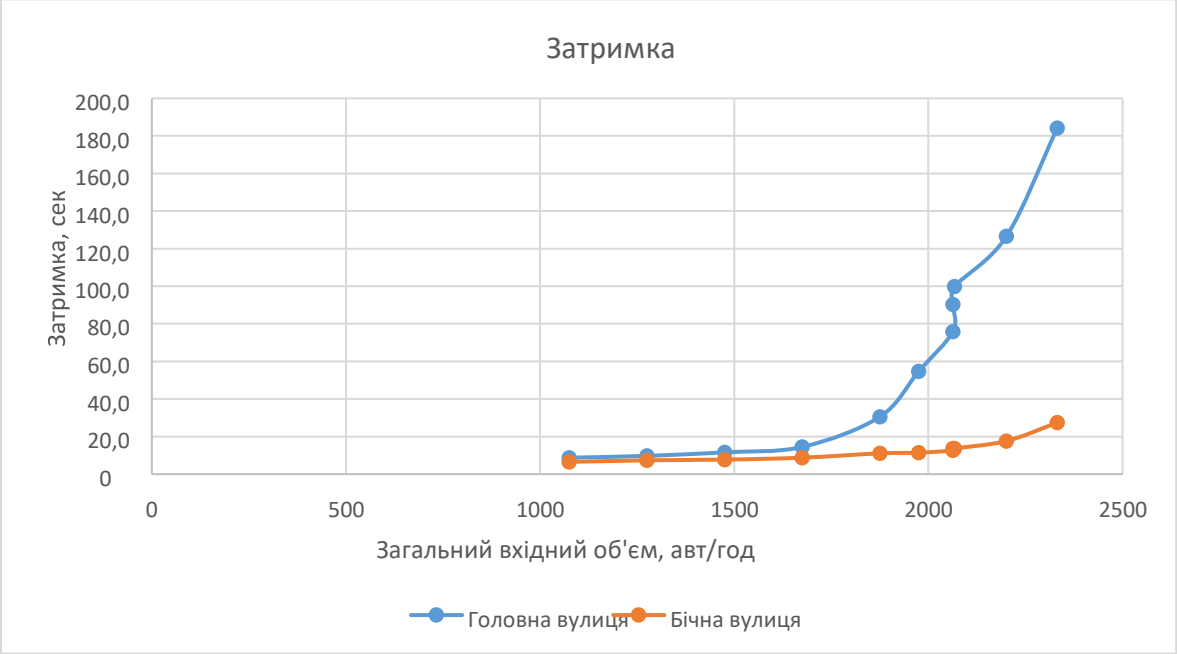

Рисунок 3.2 – Порівняння середньої затримки для головної та бічної вулиць

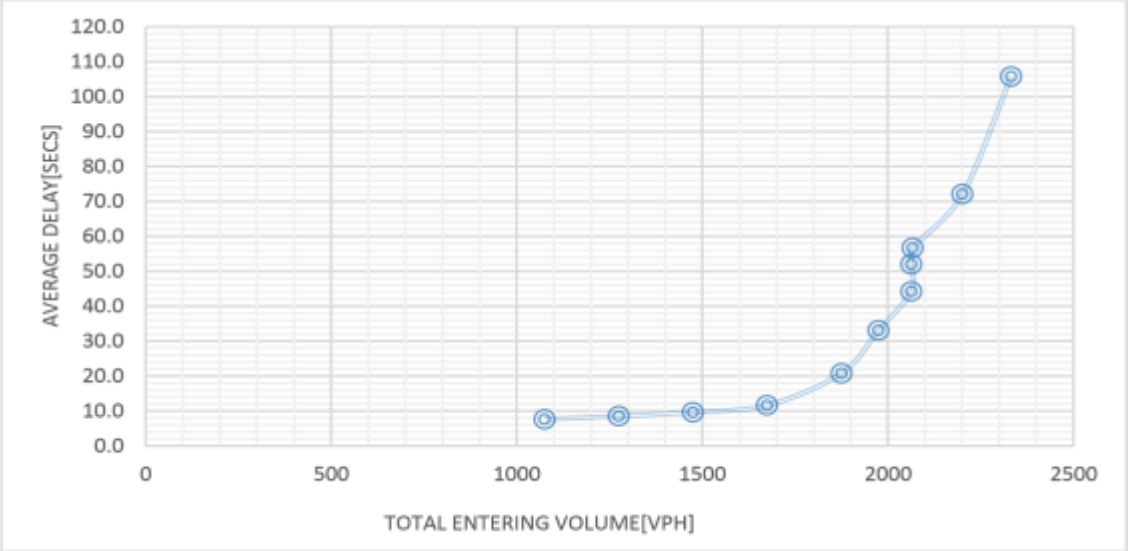

Рисунок 3.3 – Графік середньої затримки від загального обсягу входу

Випадок 2: Зв'язок між швидкістю руху та радіусом кільцевої розв'язки

Швидкість обертання була зменшена, щоб спостерігати вплив на затримку наближення. Для кожного сценарію використовувався той самий обсяг трафіку, а в таблиці 3.14 показано кількість транспортних засобів, не оброблених для підходу на північ у випадку 2 сценаріїв, і отримані фактичні загальні обсяги трафіку.

Таблиця 3.14 – Автомобілі, не змодельовані за сценарієм для випадку 2

		NB авт/год		Всього авт/год
СЦЕНАРІЇ	Номери необроблених автомобілів	Введений обсяг	Імітація автомобілів	
База	0	536	536	1075
S1	0	586	586	1275
S2	0	636	636	1475
S3	0	686	686	1675
S4	43	736	693	1832
S5	125	786	661	1950
S6	201	836	635	2074
S7	321	886	565	2154
S8	87	761	674	1888
S9	135	796	661	1950
S10	141	806	665	1954

З результатів, як показано в таблиці 3.15, ми можемо спостерігати, що зменшення циркулюючої швидкості збільшує затримку при різному підході до перехрестя. Враховуючи швидкість циркуляції 15 км/год, загальний вхідний об’єм для отримання порогу в 50 секунд становить близько 1800 об/год у порівнянні з 25 км/год, що становить приблизно 2100 об/год, як показано на рисунку 3.4.

Таблиця 3.15 – Зведення про середню затримку на підхід і загальний обсяг трафіку для випадку 2

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	Середня Підхід Затримка, сек.	Разом Об'єм Авт/год
База	7,4	5,8	12,6	7,4	8,3	1075
S1	8,2	6,2	16,2	8,0	9,7	1275
S2	9,4	6,9	25,1	8,7	12,5	1475
S3	9,7	7,8	92,7	9,4	29,9	1675
S4	11,6	9,4	215,5	10,9	61,9	1832
S5	13,9	10,1	264,6	15,9	76,1	1950
S6	20,3	13,4	301,4	31,6	91,7	2074
S7	30,2	20,0	283,5	111,3	111,3	2154
S8	12,0	9,3	252,7	13,1	71,8	1888
S9	14,9	12,4	267,3	16,2	77,7	1950
S10	15,2	12,7	274,1	25,3	81,8	1954

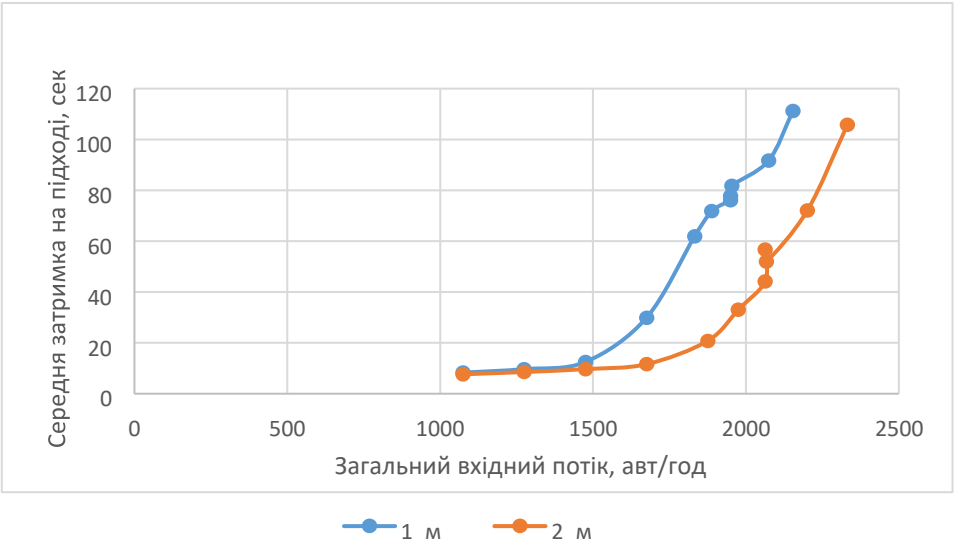

Рисунок 3.4 – Порівняння результатів для використання 15 км/год і 25 км/год із постійним радіусом

Для цих випадків було розглянуто чотири додаткові сценарії шляхом збільшення обсягів трафіку сценарію 7 на 100 авт/год за підхід, як описано в таблиці 3.16, щоб отримати порогове значення 50 секунд для сценаріїв у випадку 3.

Таблиця 3.16 – Обсяги трафіку для додаткових сценаріїв

Сценарії	SB авт/год	NB авт/год	WB авт/год	EB авт/год	РАЗОМ РУХ ГУЧНІСТЬ авт/год
S11	633	986	703	553	2875
S12	733	1086	803	653	3275
S13	833	1186	903	753	3675
S14	933	1286	1003	853	4075

Таблиці 3.17 і 3.18 показують результати зміни швидкості циркуляції та зміни діаметра кола, тобто використання швидкості циркуляції 15 км/год і 30 км/год. Представлені середня затримка на підході, затримки на підхід і загальний обсяг трафіку. Значення для циркулюючої швидкості 25 км/год були отримані з випадку 1. Було помічено, що чим вища циркулююча швидкість, тим вища пропускна здатність кільцевої розв’язки. Обсяги, щоб отримати порогове значення в 50 секунд для 15 км/год, 25 км/год і 30 км/год, становлять приблизно 1700, 2100 і 2750 відповідно, як показано на рисунку 3.5.

Таблиця 3.17 – Середня затримка на підході 15 км/год із відповідним радіусом

Сценарії	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ ПІДХІД ЗАТРИМКА, сек	РАЗОМ ОБ'ЄМ, авт/год
База	5,3	2,4	5,1	6,5	4,8	1075
S1	5,8	2,6	6,9	6,5	5,5	1275
S2	6,3	2,6	9,5	7,6	6,5	1475
S3	7,0	3,1	23,7	8,1	10,5	1675
S4	8,5	3,7	79,6	10,3	25,5	1875
S5	9,6	4,3	232,8	11,2	64,5	1993
S6	12,6	5,5	270,8	29,5	79,6	2112
S7	25,0	9,2	290,7	53,4	94,6	2235
S8	8,4	3,8	163,9	10,9	46,8	1961

S9	11,8	4,8	212,8	12,3	60,5	2020
S10	13,4	6,1	221,5	15,0	64,0	2023

Таблиця 3.18 – Середня затримка на підході 30 км/год із відповідним радіусом

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ ПІДХІД ЗАТРИМКА, сек	РАЗОМ ОБ'ЄМ, авт/год
База	5,9	4,8	7,6	4,2	5,6	1075
S1	6,6	5,1	8,2	4,3	6,0	1275
S2	6,7	5,1	9,5	4,7	6,5	1475
S3	7,2	5,4	10,8	4,9	7,1	1675
S4	7,6	5,7	12,2	5,1	7,7	1875
S5	8,5	6,1	17,6	5,9	9,5	2075
S6	10,4	6,8	31,3	6,7	13,8	2275
S7	9,9	6,8	31,6	6,9	13,8	2475
S8	8,1	5,8	14,6	5,6	8,5	1975
S9	9,3	6,5	22,1	6,9	11,2	2085
S10	9,3	6,3	18,8	6,4	10,2	2095
S11	19,5	11,2	190,9	17,3	59,7	2747
S12	48,8	21,5	214,5	81,5	91,6	3016
S13	252,8	96,6	222,7	261,9	208,5	3257
S14	309,6	261,1	231,7	317,2	279,9	3291

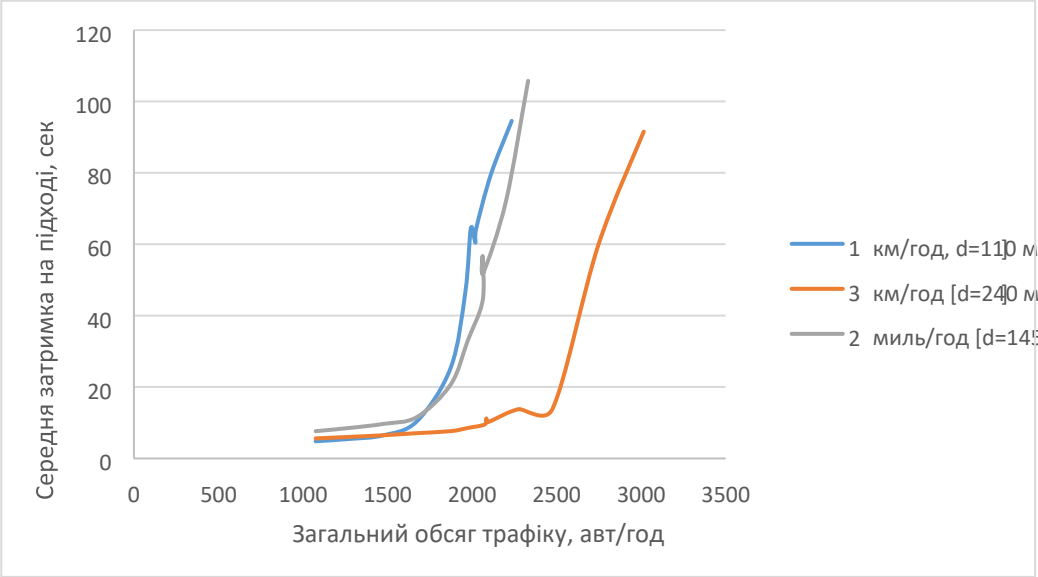

Рисунок 3.5 – Порівняння швидкості обертання зі зміною радіуса

Випадок 3: Різна кількість пішоходів і різна кількість транспорту

Цей випадок бере до уваги різну кількість пішоходів і різну кількість транспорту. Було розглянуто чотири випадки, як показано в таблиці 3.19 (за

умови, що вони рівномірно розподілені навколо перехресть з круговим рухом у всіх напрямках).

Таблиця 3.19 – Обсяги пішоходів

	Обсяги пішоходів, осіб/год				
ПРИКЛАДНИКИ	NW	NE	SW	SE	Всього
1	15	15	15	15	60
2	25	25	25	25	100
3	50	50	50	50	200
4	75	75	75	75	300
5	100	100	100	100	400

Таблиці 3.20 до 3.24 підсумовують результати середньої затримки на під'їзд, отримані для різних випадків імітаційної моделі для випадку 3. Пішоходи на кільцевій розв'язці збільшують затримку для різних підходів до кільцевої розв'язки, як показано на рисунку 3.6. Чим менша гучність пішохода, тим менша середня затримка на підході, як показано, і навпаки. Це коли автомобіль поступається пішоходам на пішохідному переході, тобто пішоходи не контролюються сигналами світлофора. Обсяги, щоб отримати порогове значення в 50 секунд, становлять від 1700 до 1900 транспортних годин на годину для пішоходів від 60 осіб на годину до 400 осіб на годину. Швидкість пішохода коливається від 0,97 м/с до 1,62 м/с для чоловіків і 0,71 м/с – 1,19 м/с для жінок

Таблиця 3.20 – Середня затримка на підході для прикладу 1

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ ПІДХІД ЗАТРИМКА [сек,]	РАЗОМ ОБ'ЄМ авт/год
БАЗА	8,1	6,6	12,3	7,6	8,7	1075
S1	9,0	7,1	13,6	8,5	9,6	1275
S2	9,9	7,8	19,3	9,5	11,7	1475
S3	11,1	9,2	39,8	9,8	17,5	1675
S4	13,4	11,1	167,7	11,8	51,0	1865
S5	18,6	13,1	220,0	18,3	67,5	2002
S6	29,0	18,3	253,0	26,8	81,8	2130
S7	49,9	29,5	268,4	102,6	112,6	2265
S8	15,3	12,9	222,6	19,9	67,7	1938
S9	19,5	14,4	222,6	19,9	69,1	2005

S10	20,2	14,5	243,2	21,5	74,8	1988

Таблиця 3.21 – Затримка підходу для прикладу 2

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ ПІДХІД ЗАТРИМКА [сек,]	РАЗОМ ОБ'ЄМ авт/год
База	8,0	6,8	11,9	8,0	8,7	1075
S1	9,4	7,3	13,8	8,4	9,7	1275
S2	9,8	8,1	21,0	9,8	12,2	1475
S3	11,4	8,7	50,4	11,0	20,3	1675
S4	14,4	10,3	148,3	12,1	46,3	1875
S5	18,8	13,3	231,2	21,5	71,2	1994
S6	25,1	17,9	254,7	38,2	84,0	2128
S7	50,9	25,0	269,5	122,2	116,9	2258
S8	14,3	12,0	221,0	14,8	65,5	1926
S9	18,0	14,6	116,5	15,9	41,2	1997
S10	19,5	15,1	239,2	24,2	74,5	1992

Таблиця 3.22 –Середня затримка підходу для прикладу 3

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ ПІДХІД ЗАТРИМКА, сек	РАЗОМ ОБ'ЄМ авт/год
БАЗА	8,4	6,8	12,7	7,6	8,9	1075
S1	10,0	7,4	15,2	9,2	10,4	1275
S2	10,6	8,2	19,7	10,3	12,2	1475
S3	12,0	9,4	63,8	10,4	23,9	1675
S4	14,6	10,8	167,7	13,5	51,6	1864
S5	17,4	13,4	236,2	17,2	71,0	1986
S6	29,9	19,7	256,4	63,5	92,4	2126
S7	117,9	26,1	279,8	118,3	135,5	2249
S8	17,1	11,4	227,8	19,1	68,8	1921
S9	23,9	14,5	251,9	26,5	79,2	1978
S10	22,8	16,0	253,7	20,2	78,2	1979

Таблиця 3.23 – Середня затримка підходу для прикладу 4

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ ПІДХІД ЗАТРИМКА сек	РАЗОМ ОБ'ЄМ авт/год
БАЗА	8,1	6,6	12,3	7,6	8,7	1075
S1	9,0	7,1	13,6	8,5	9,6	1275
S2	9,9	7,8	19,3	9,5	11,7	1475
S3	11,1	9,2	39,8	9,8	17,5	1675
S4	13,4	11,1	167,7	11,8	51,0	1865
S5	18,6	13,1	220,0	18,3	67,5	2002
S6	29,0	18,3	253,0	26,8	81,8	2130
S7	49,9	29,5	268,4	102,6	112,6	2265
S8	15,3	12,9	222,6	19,9	67,7	1938
S9	19,5	14,4	222,6	19,9	69,1	2005
S10	20,2	14,5	243,2	21,5	74,8	1988

Таблиця 3.24 – Середня затримка підходу для прикладу 5

	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ	ЗАГАЛЬНИЙ ОБ'ЄМ
БАЗА	8.6	7.2	14.1	8.3	9.5	1075
S1	10.3	8.0	16.8	9.7	11.2	1275
S2	11.1	8.7	26,0	10.4	14.0	1475
S3	13.5	10.1	110,0	11.0	36.1	1675
S4	18.0	11.8	219,0	15,0	66,0	1832
S5	21.3	13.6	254,8	21.6	77,8	1962
S6	46,0	19.8	270,6	76.9	103.3	2102
S7	140.1	29.5	298.4	147.7	153.9	2222
S8	19.8	12.0	235.4	17.1	71.1	1905
S9	23.8	14.4	259.2	29.5	81.7	1958
S10	28.3	16.3	269.3	86.9	100.2	1964

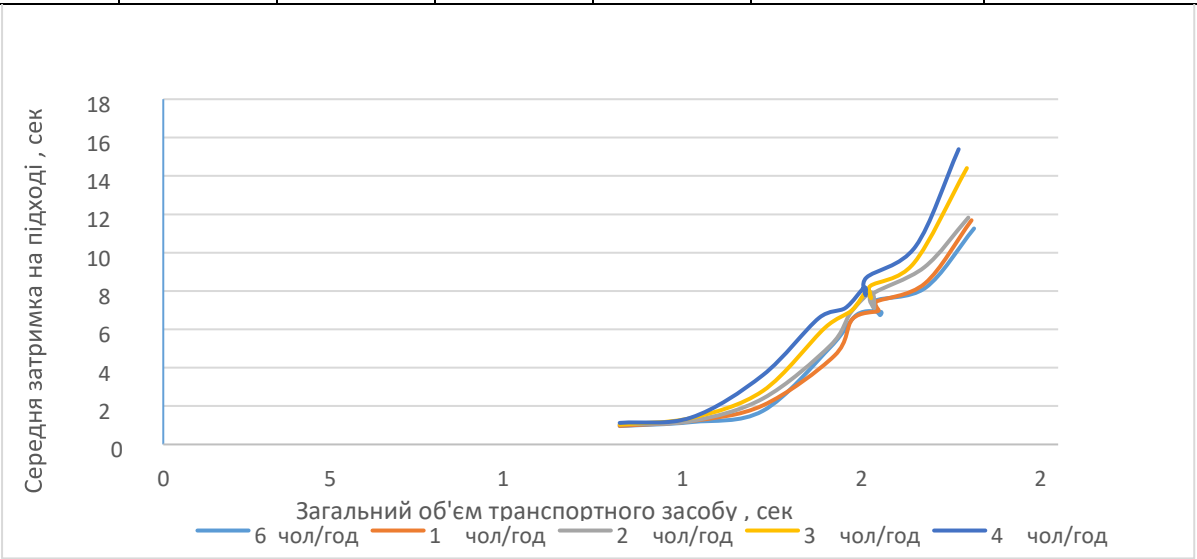

Рисунок 3.6 – Порівняння результатів для всіх екземплярів

Випадок 4: використання сигналів світлофора на двосмуговій кільцевій розв'язці

Використання сигналу світлофора на кільцевому перехресті може допомогти збалансувати потік на перехресті, як показано в результаті цього випадку. У таблиці 3.25 показано кількість транспортних засобів, не змодельованих для підходу на північ через обмеження часу, і загальний обсяг руху для випадку 4. У таблиці 3.26 представлено середню затримку на підхід, середню затримку на підході та загальний обсяг руху для кожен зі сценаріїв, розглянутих у випадку 4.

Таблиця 3.25 – Кількість автомобілів, не змодельованих за сценарієм для випадку 4

		NB авт/год		
СЦЕНАРІЇ	Кількість Автомобілів Ні Оброблено	Введений обсяг	Імітація автомобілів	Всього обсяг авт/год
База	0	536	536	1075
S1	0	586	586	1275
S2	0	636	636	1475
S3	0	686	686	1675
S4	0	736	736	1875
S5	0	786	786	2075
S6	0	836	836	2275
S7	37	886	849	2438
S8	0	761	761	1975
S9	0	796	796	2085
S10	0	806	806	2095

Таблиця 3.26 – Підсумок середньої затримки на підхід і загальний обсяг трафіку для випадку 4

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ Підхід Затримка авт/год	Загальний обсяг авт/год
База	10,7	15,3	15,4	16,0	14,4	1075
S1	14,0	15,1	16,3	11,8	14,3	1275
S2	16,5	13,4	17,9	12,7	15,1	1475
S3	17,5	17,4	20,0	14,4	17,3	1675
S4	21,0	19,7	25,1	15,0	20,2	1875
S5	23,2	24,5	32,0	17,4	24,3	2075
S6	27,3	33,6	49,8	21,5	33,0	2275
S7	32,5	35,0	156,3	24,9	62,2	2438
S8	21,1	19,7	27,9	17,7	21,6	1975
S9	22,2	24,6	31,5	18,1	24,1	2085
S10	23,1	23,6	36,9	17,1	25,2	2095

На рисунках 3.8–3.11 графічно представлено результати для базової умови та сценаріїв 1–4. Вони показують регіон, коли сигнал світлофора не сприятливий для трафіку. Використання сигналу світлофора при такій гучності буде марною тратою ресурсів і спричинить додаткові затримки для громадськості. На рисунку 3.12 ми могли бачити значне зменшення затримки через наявність сигналу світлофора. Це також допомагає збалансувати розподіл трафіку на цьому перехресті. Рисунок 3.13 нижче показує переваги встановлення сигналу світлофора на кільцевому перехресті. На графіку видно, що сигнали світлофора стають корисними, коли загальний вхідний потік становить близько 2000 авт/год.

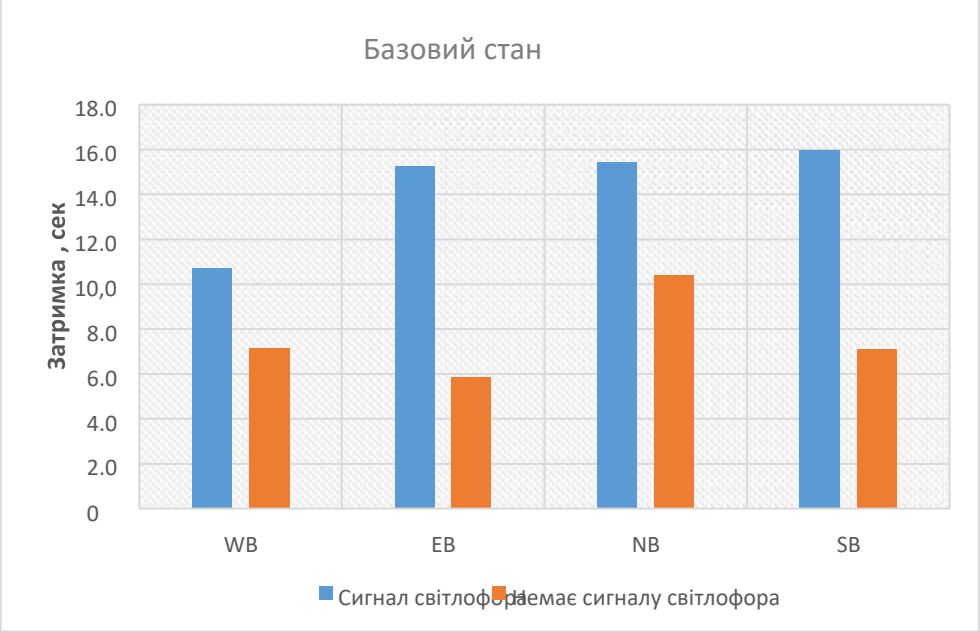

Рисунок 3.7 – Порівняння базового стану з сигналами світлофора та без нього

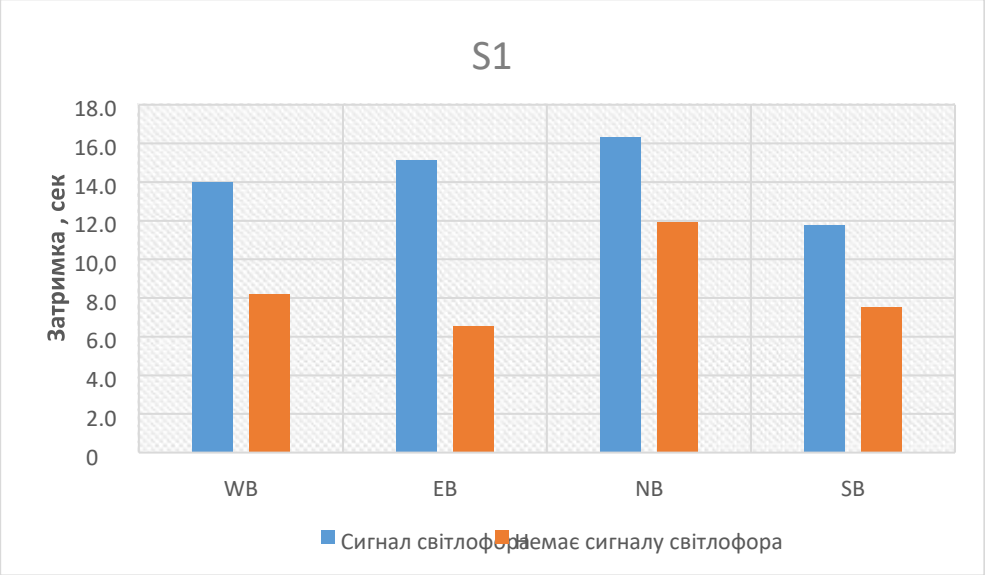

Рисунок 3.8 – Порівняння сценарію 1 із сигналами світлофора та без нього

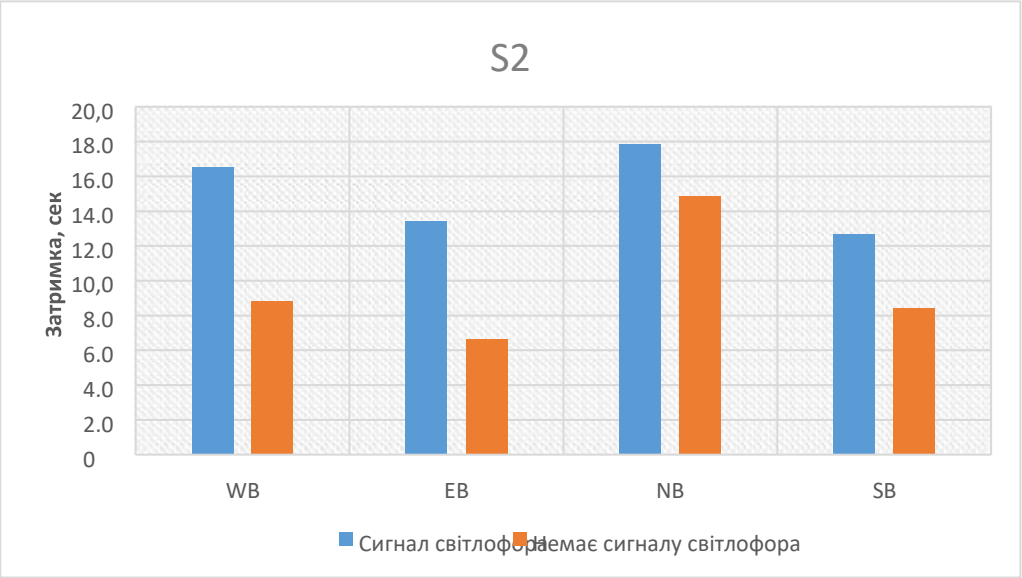

Рисунок 3.9 – Порівняння сценарію 2 із сигналами світлофора та без нього

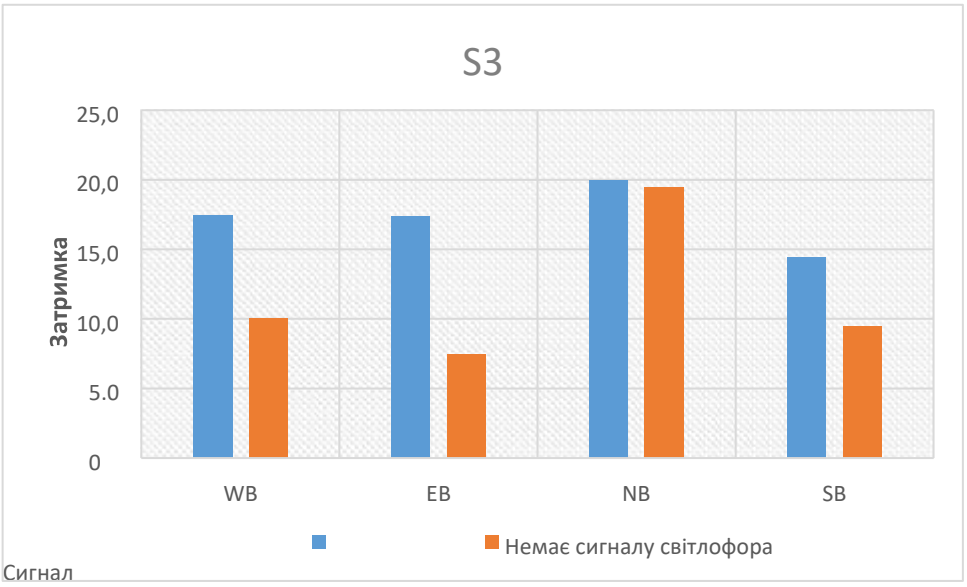

Рисунок 3.10 – Порівняння сценарію 3 із сигналами світлофора та без нього

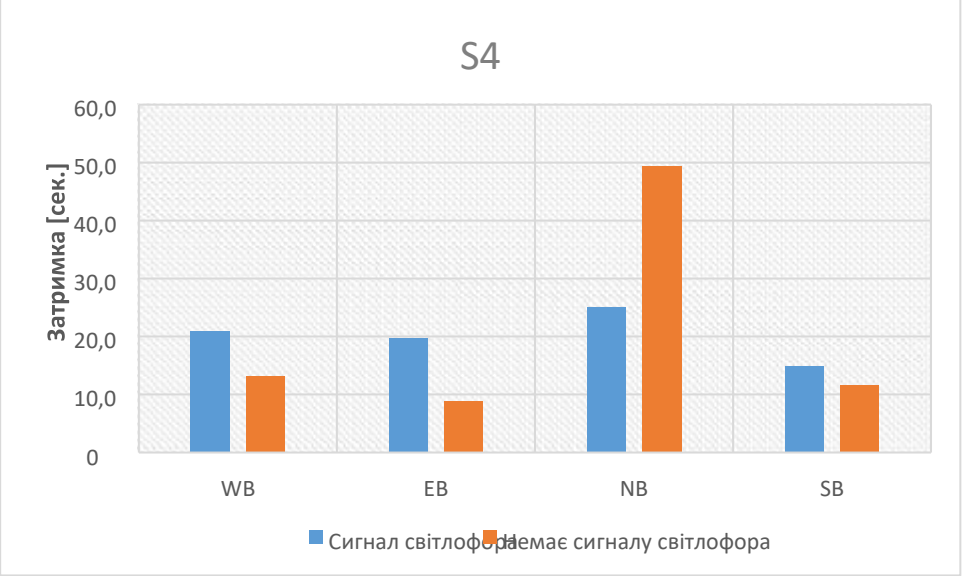

Рисунок 3.11 – Порівняння сценарію 4 із сигналами світлофора та без нього

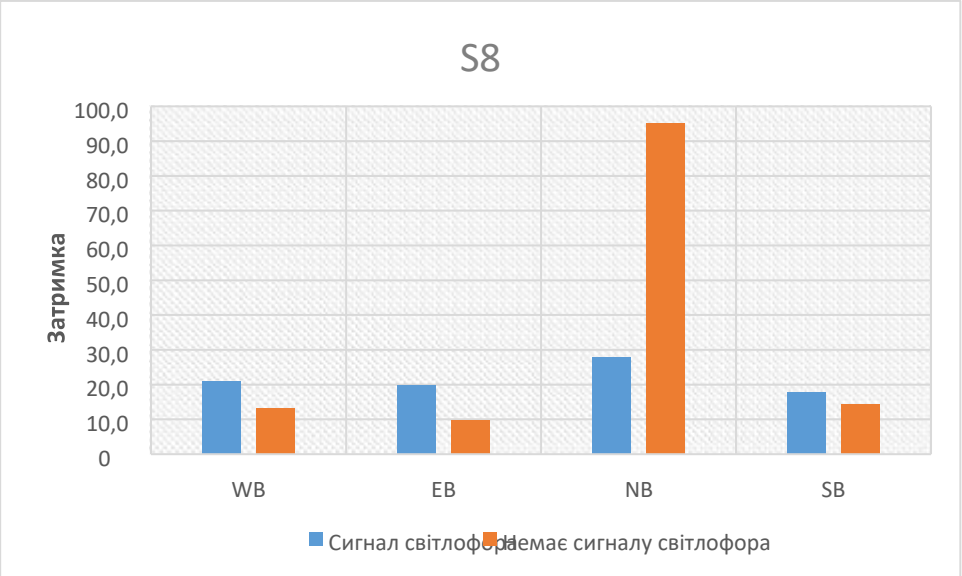

Рисунок 3.12 – Порівняння сценарію 8 із сигналами світлофора та без нього

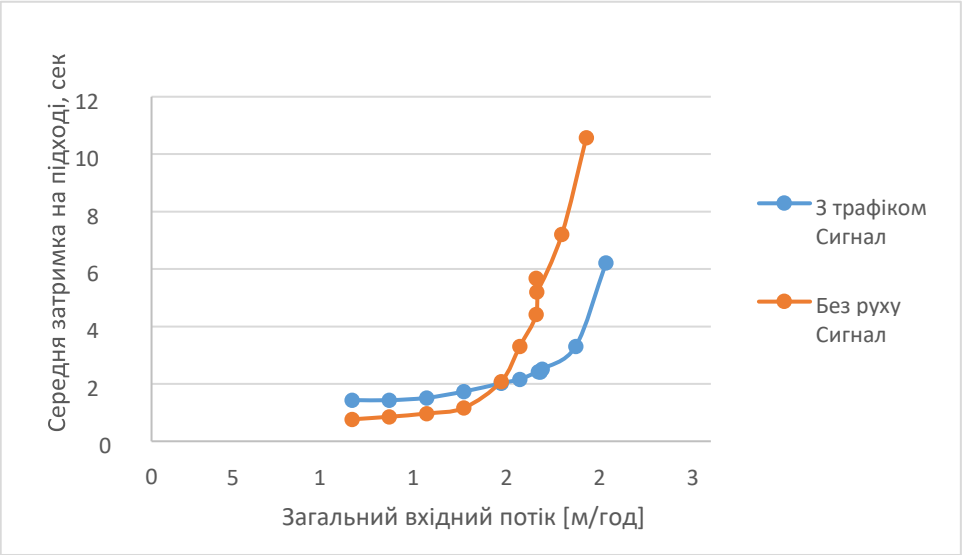

Рисунок 3.13 – Порівняння середньої затримки на під’їзді для кільцевої розв’язки з сигналами світлофора та без нього

Випадок 5: Додавання смуг для роз’їзду до двосмугової кільцевої розв’язки

Таблиці 3.27 та 3.28 показують середню затримку на під’їзд, середню затримку на під’їзді та загальні обсяги руху для включення смуг для роз’їзду в геометричний проект кільцевої розв’язки лише для головної вулиці та включення смуг для роз’їзду до всіх під’їздів відповідно. З результатів було виявлено, що смуги ковзання суттєво зменшують затримку на перехресті та збільшують пропускну здатність кільцевих розв’язок, хоча це може призвести до збільшення місця та витрат на будівництво. На рисунку 414 показано, що обсяг для досягнення порогу в 50 секунд становить 2750 авг/год, якщо смуги ковзання введено лише для смуги, яка зазнає надмірної затримки, і 3450 вел/год, і якщо смуга ковзання введена для всіх підходів.

Таблиця 3.27 – Додавання смуги роз’їзду лише на головній вулиці

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ Підхід Затримка авт/год	Загальний обсяг авт/год
База	6.8	5.7	6.6	1.4	5.1	1075
S1	7.7	5.8	6.7	1.9	5.5	1275
S2	8.1	6.2	7.2	2.4	6.0	1475
S3	8.9	7.1	7.0	2.5	6.4	1675
S4	9.7	7.7	7.6	3.0	7.0	1875
S5	11.9	8.5	8.5	3.4	8.1	2075
S6	15.6	11.9	9.1	3.9	10.1	2275
S7	23.4	14.7	9.3	4.5	13.0	2475
S8	11.1	8.5	7.9	3.3	7.7	1975
S9	14.5	8.9	8.2	3.8	8.8	2085
S10	12.9	9.0	8.7	3.9	8.6	2095
S11	218.6	25.1	15.2	7.8	66.7	2875
S12	367,0	184,5	32,0	15.6	149.8	3195
S13	409.1	374,6	80.8	41.7	226.5	3368
S14	419,9	446,7	93,0	55.6	253,8	3414

Таблиця 3.28 – Додавання смуги ковзання до всіх підходів

СЦЕНАРІЇ	WB авт/год	EB авт/год	NB авт/год	SB авт/год	СЕРЕДНЯ Підхід Затримка авт/год	Загальний обсяг авт/год
База	6,0	3,4	4,9	2,1	4,1	1075
S1	6,4	3,5	5,2	2,2	4,3	1275
S2	6,7	3,7	5,4	2,6	4,6	1475
S3	6,6	4,1	5,6	2,5	4,7	1675
S4	7,3	4,4	6,2	3,0	5,2	1875
S5	7,7	4,5	6,8	3,1	5,5	2075
S6	8,9	4,9	7,5	3,5	6,2	2275
S7	11,5	5,5	8,1	3,5	7,2	2475
S8	7,4	4,2	6,2	2,9	5,2	1975
S9	8,2	4,9	6,8	3,3	5,8	2085
S10	8,0	4,9	7,0	3,3	5,8	2095
S11	18,4	6,1	11,9	4,4	10,2	2875
S12	125,6	7,7	16,5	5,6	38,9	3275
S13	252,0	9,0	44,8	9,2	78,8	3670
S14	309,6	16,3	111,8	10,0	111,9	3843

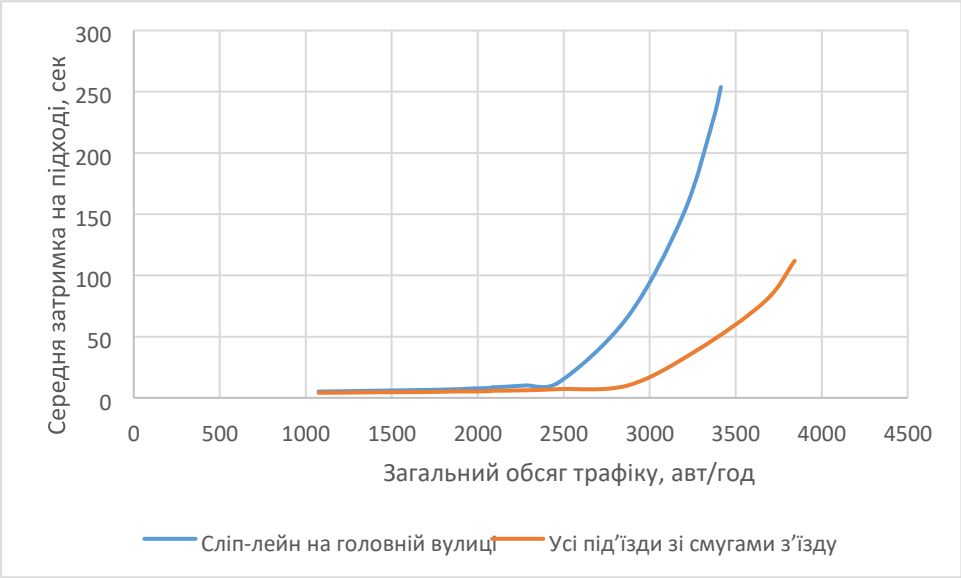

Рисунок 3.14 – Крива затримки для додавання смуги роз'їзду на головній та/або бічній вулиці

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Безпека праці в умовах воєнного часу

У воєнний період, безпека праці стає однією з найбільш критичних та актуальних проблем. Надзвичайні обставини та загрози можуть серйозно вплинути на робочі умови, здоров'я та безпеку працівників. Особливо важливою стає здатність підприємств та організацій забезпечувати належний рівень безпеки праці та захисту свого персоналу в умовах конфлікту.

Ризики у воєнний період:

Умови воєнного конфлікту приносять з собою численні ризики для працівників. Це може включати загрози від військових дій, терористичні акти, обмеження в русі, знищення інфраструктури, заборону на виїзд, інтернування та багато інших. Ці умови вимагають від підприємств гнучкості та готовності до втручання в непередбачені обставини.

Стратегії для забезпечення безпеки:

Створення та реалізація стратегій безпеки праці стають вирішальними. Вони включають в себе планування евакуації, реакцію на надзвичайні ситуації, забезпечення безпечних умов праці, організацію навчань та тренувань з реагування на небезпеку. Крім цього, важливою є співпраця з правоохоронними та військовими структурами для обміну інформацією та координації заходів у разі загрози.

Захист і психологічна підтримка:

Психологічний стан персоналу в умовах воєнного конфлікту є ключовим. При підвищеному стресі та небезпеці працівники можуть відчувати збудження, тривогу та навіть посттравматичний стрес. Забезпечення психологічної підтримки, консультування та розробка програм психологічної стійкості можуть допомогти зберегти ментальне здоров'я колективу.

Інфраструктура та безпека робочих місць:

Захист інфраструктури підприємств від можливих воєнних загроз, обладнання робочих приміщень системами безпеки та контролю доступу, а також організація безпечних зон є важливими аспектами забезпечення безпеки праці в умовах конфлікту.

Професійна підготовка та навчання:

У воєнний період важливо мати навички та знання, які дозволять працівникам ефективно реагувати на різноманітні ситуації. Проведення спеціальних тренувань, симуляцій воєнних обставин, навчання захисту від хімічних або біологічних загроз є критичними для збереження життя та здоров'я працівників.

Ефективна комунікація та планування:

Планування та здатність до ефективної комунікації є основними чинниками в управлінні воєнними обставинами. Розробка чітких комунікаційних каналів, системи негайного повідомлення та мобільності, а також плани евакуації в разі необхідності є ключовими елементами безпеки праці в цей період.

Постійне оновлення стратегій та планів:

Умови воєнного конфлікту можуть раптово змінюватися, тому постійне оновлення стратегій, аналіз ризиків та реакція на зміни в економічному та політичному середовищі є обов'язковими елементами для забезпечення ефективної безпеки праці.

Залучення до співпраці місцевих та міжнародних організацій:

Співпраця з організаціями міжнародного співтовариства та регіональними партнерами може забезпечити доступ до додаткових ресурсів, експертної допомоги та підтримки в управлінні та реагуванні на кризові ситуації в умовах воєнного конфлікту.

Публічна свідомість та освіта:

Освіта та свідомість населення щодо процедур дії в умовах воєнного стану, навчання правилам безпеки та способам захисту можуть значно зменшити ризики та допомогти в управлінні панікою або хаосом під час кризових ситуацій.

Забезпечення медичної допомоги та невідкладної реагування:

В умовах війни, доступ до медичної допомоги може бути обмеженим або ускладненим. Підприємства повинні розробити плани дій у разі надзвичайних медичних ситуацій, мати власні системи першої медичної допомоги та співпрацювати з медичними організаціями для надання кваліфікованої допомоги своїм працівникам.

Захист від інформаційних загроз:

У військовий час інформаційні системи можуть бути підвищеному ризику злому чи кібератакам. Захист конфіденційної інформації, забезпечення безпеки мереж та систем зв'язку є важливою складовою безпеки праці підприємства.

Соціальна відповідальність та гуманітарна допомога:

Підприємства в умовах воєнного конфлікту можуть відігравати важливу роль у гуманітарних програмах, забезпечуючи допомогу для потерпілих, родин військовослужбовців або людей, що постраждали внаслідок воєнних дій.

Стійкість управління кризовими ситуаціями:

Ефективне управління кризовими ситуаціями та готовність до швидкої реакції на надзвичайні обставини є важливими складовими для збереження життя та безпеки працівників.

Важливість міжнародного співробітництва та дипломатії:

Міжнародне співробітництво та дипломатія грають ключову роль у запобіганні конфліктів та забезпеченні безпеки на міжнародному рівні. Активна співпраця та дипломатичні зусилля можуть сприяти мирному врегулюванню конфліктів та зменшенню загроз безпеці.

Загальний висновок:

Безпека праці в умовах воєнного часу є складною, але надзвичайно важливою справою. Це вимагає поєднання багатьох факторів: від професійної підготовки та медичного забезпечення до захисту від кіберзагроз та гуманітарної

допомоги. Постійний аналіз ризиків та стратегій, співпраця з владними та медичними структурами, а також соціальна відповідальність - все це важливі аспекти забезпечення безпеки праці в непередбачуваних умовах воєнного конфлікту.

4.2. Підвищення стійкості роботи підприємств автотранспортного профілю у воєнний час

Основою для розгортання стратегій підвищення стійкості роботи підприємств автотранспортного профілю у воєнний період є:

1. Стратегічне планування: Розвиток планів дій у воєнний час для забезпечення безперебійної роботи автотранспортних підприємств.
2. Резервування ресурсів: Створення резервних запасів палива, запчастин та обладнання для забезпечення неперервності роботи автопарку.
3. Критична інфраструктура: Захист критично важливих об'єктів (гаражів, складів, маршрутів) від можливих воєнних загроз.
4. Технічне підтримання: Підготовка спеціалістів та технічний сервіс для оперативного відновлення робочих одиниць у разі пошкоджень.
5. Запобігання перервам в роботі: Розробка системи альтернативних маршрутів та способів доставки для уникнення зупинок через блокади або обмеження руху.
6. Логістика та управління ризиками: Впровадження ефективної системи логістики та управління ризиками для оперативного реагування на несподівані події.
7. Співпраця з владою: Взаємодія з військовими та цивільними владними структурами для планування та реалізації заходів у воєнний час.

У воєнний час, автотранспортні підприємства стають важливими ланками для забезпечення руху та постачання ресурсів. Збереження їхньої стійкості та

функціонування у важкі періоди стає вирішальним завданням для ефективного функціонування економіки та життєвого комфорту суспільства. Особливу увагу потрібно приділити стратегіям, які дозволять підприємствам вести діяльність в умовах воєнних загроз.

Стратегічне планування:

Передове стратегічне планування є критично важливим для підприємств автотранспортного профілю. Розробка і впровадження індивідуальних стратегій для кожного підприємства, з урахуванням його місцезнаходження, особливостей роботи та можливих воєнних загроз, є кроком у забезпеченні неперервної роботи.

Забезпечення резервних ресурсів:

Створення запасів палива, запчастин та необхідних матеріалів для автопарку є ключовим аспектом підвищення стійкості. Розробка систем контролю за запасами та їх періодичне оновлення гарантують постійну готовність до умов воєнного часу.

Інфраструктурна безпека:

Захист критично важливих об'єктів шляхом впровадження сучасних систем безпеки та контролю доступу є необхідним для збереження робочих місць та обладнання в умовах можливих загроз.

Технічне обслуговування та ремонт:

Готовність до оперативного відновлення робочих одиниць та технічного обслуговування в умовах війни забезпечується за рахунок підготовки кваліфікованого персоналу та організації мобільних бригад для термінових ремонтів.

Логістика та маршрутизація:

Розробка альтернативних маршрутів та оптимізація доставки в умовах воєнного конфлікту забезпечує неперервність постачання, дозволяючи уникнути зупинок через блокади або обмеження руху.

Співпраця та координація з владою:

Ефективне спілкування з військовими та цивільними владними структурами, обмін інформацією та планування спільних заходів виконують критичну роль у забезпеченні стійкості під час воєнного стану.

Усі ці стратегії спрямовані на забезпечення стабільності та продовження функціонування автотранспортних підприємств навіть у найважчих часах. Постійне вдосконалення та реалізація цих стратегій є ключем до успішного подолання викликів воєнного періоду та забезпечення безпеки і руху населення та ресурсів.

Адаптація до небезпеки:

Уміння швидко реагувати на зміни в економічному та політичному середовищі, включаючи воєнні загрози, є ключовим елементом. Підприємства повинні бути готовими до адаптації своїх стратегій та процесів у найкоротший термін, щоб мінімізувати вплив негативних факторів.

Інвестиції в технології безпеки:

Вдосконалення систем безпеки, включаючи відстеження, захист даних та захист працівників, є важливим компонентом стратегії підвищення стійкості. Інвестування в нові технології та системи забезпечить більш ефективну реакцію на потенційні загрози.

Партнерство з іншими галузями:

Співпраця з іншими секторами економіки, включаючи галузі з постачання, логістики та технологій, може забезпечити взаємну підтримку у складних ситуаціях. Спільні зусилля можуть забезпечити більшу ефективність у реагуванні та розв'язанні проблем.

Тренування та симуляції:

Проведення тренувань та симуляцій воєнних сценаріїв допомагає персоналу підприємства підготуватися до кризових ситуацій. Це дозволяє випробувати стратегії та процедури в реальних умовах, підвищуючи рівень готовності до непередбачених обставин.

Забезпечення психологічної стійкості:

Надзвичайні обставини можуть мати великий вплив на працівників. Тому важливо створити програми психологічної підтримки та навчання, щоб забезпечити стабільність та продуктивність персоналу у важливі моменти.

Система контролю та оцінки:

Постійне вдосконалення систем контролю за ризиками та їх оцінка дозволяють підприємствам адаптувати свої стратегії до нових умов та вчасно реагувати на загрози.

Висновки:

Підвищення стійкості автотранспортних підприємств у воєнний час є складним завданням, що вимагає комплексного підходу та глибокого розуміння ризиків та можливих наслідків. Запровадження цих стратегій може виявитися вирішальним для забезпечення ефективної роботи під час непередбачуваних обставин.

ВИСНОВКИ

Використовуючи результати, отримані в результаті моделювання кожного з розглянутих випадків, можна зробити такі висновки.

По-перше, сценарії у випадку 1 показують, що чим вищий інтенсивність руху на кільцевому перехресті, тим більша середня затримка автомобіля. Це пов’язано з тим, що середня затримка автомобіля на під’їзд залежить від інтенсивності транспорту, що в’їжджає на коло з різних кінців кільцевої розв’язки.

По-друге, швидкість циркулюючого потоку залежить від діаметра кола, чим більше діаметр кола, тим вище швидкість циркулюючого потоку. Більша ширина збільшує пропускну здатність кільцевої розв’язки, як показано в результатах випадку 2. Крім того, при постійному діаметрі збільшення швидкості в межах кола збільшує пропускну здатність кільцевої розв’язки та зменшує затримку транспортних засобів.

Пішоходи на кільцевій розв’язці зменшують її пропускну здатність, як показано в результатах, отриманих у випадку 3. Збільшення загальної кількості пішоходів на кільцевій розв’язці збільшує середню затримку на під’їзді, коли транспортні засоби поступаються пішоходам, які йдуть по пішохідному переходу.

Це дослідження також виявило, що встановлення сигналів світлофора на кільцевій розв’язці є корисним, оскільки воно підвищує пропускну здатність кільцевої розв’язки, зменшуючи середню затримку на під’їзді, коли частини кільцевої розв’язки зазнають незбалансованого потоку. Недоліком використання сигналу світлофора є те, що він збільшує середню затримку на під’їзді, коли загальний інтенсивність руху на цьому кільцевому перехресті є значно низьким. Інтенсивність руху, коли сигнали світлофора стають корисними, становить близько 2000авт/год.

І нарешті, випадок 5 показує, як включення смуг для ковзання на кільцевому перехресті, що має надмірну затримку, допомагає покращити

пропускну здатність кільцевого перехрестя. Результати показали, що середню затримку на під'їзді можна зменшити на 20–80 відсотків, якщо на кільцевій розв'язці використовувати смугу ковзання. Обмеження, пов'язані з цією конструкцією, полягають у тому, що вона займає більше місця.

Зрештою, сигнали світлофора можна розглядати, коли загальний в'їзний потік на двосмуговому кільцевому перехресті становить близько 2000авт/год [якщо кількість пішоходів незначна]. Якщо загальна кількість пішоходів на кільцевій розв'язці становить приблизно 400 осіб/год, а загальна кількість транспортних засобів становить близько 1800 транспортних засобів, необхідно розглянути можливість використання сигналу світлофора. Смуги для ковзання бажано використовувати, якщо транспортний засіб, що повертає праворуч, має велику кількість. Обсяг для досягнення 50-секундного порогу становить 2750 авт/год, якщо смуги ковзання вводяться лише до смуги, яка зазнає надмірної затримки, і 3450 авт/год, і якщо смуга ковзання вводиться для всіх підходів. У цьому документі показано вплив параметрів руху та геометричних особливостей на затримку на двосмуговій кільцевій розв'язці. Подальші роботи можуть включати оцінку впливу різних категорій транспортних засобів на кільцеве перехрестя, враховуючи різне співвідношення загального обсягу руху на головній вулиці та загального обсягу руху на бічній вулиці, а також вплив різних швидкостей наближення на середню затримку на під'їзді.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Akcelik, R. (2001), Roundabouts with Metering Signals: Capacity and Performaance Analysis, Akcelik and Associates Pty Ltd, Melboure.
2. Akcelik, R. (2004). “Roundabouts with Unbalanced Flow Patterns.” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
3. Azemsha, S., Kravchenya, I., Vovk, Y., Lyashuk, O., & Vovk, I. (2021). Scheduling technique of route vehicles on duplicating stretches. Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska, (113).
4. Karpenko, O., Horbenko, A., Vovk, Y., & Tson, O. (2017). Research of the structure and trends in the development of the logistics market in Ukraine. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2(2), 57-66.
5. Khudobei, R. V., Bakan, S. A., & Vovk, Y. Y. (2023). Increasing the efficiency of technological support for transport operations. Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем, 62.
6. Martin-Gasulla, M., García, A., and Moreno, A. T. (2016a). “Benefits of Metering Signals at Roundabouts with Unbalanced Flow.” Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.
7. Martin-Gasulla, M., Garcia, A., Moreno, A. T., and Llorca, C. (2016b). “Capacity and Operational Improvements of Metering Roundabouts in Spain.” Transportation Research Procedia.
8. Savchenko, L., Grygorak, M., Polishchuk, V., Vovk, Y., Lyashuk, O., Vovk, I., & Khudobei, R. (2022). Complex evaluation of the efficiency of urban consolidation centers at the micro level. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, (115).
9. Savchenko, L., Zhigula, S., Yurchenko, K., Vovk, Y., & Oleksiuk, A. (2021). Combination of different means of parcel deliveries in urban logistics in adverse weather conditions. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 6(1), 6-17.

10. Tracz, M., and Chodur, J. (2012). “Performance and Safety Roundabouts with Traffic Signals.” Procedia - Social and Behavioral Sciences.
11. Transportation Research Board. (2016). Highway capacity manual. Environmental Protection.
12. TRB, and Manual, H. C. (2016). “Transportation research board.” National Research Council, Washington, DC.
13. Vovk Y. Resource-efficient intelligent transportation systems as a basis for sustainable development. Overview of initiatives and strategies / Y. Vovk // Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2016. – Vol. 1, No. 1. – p. 6-10. (Польща).
14. Whitham, G. B. (1974). Linear and Nonlinear Waves. New York: Wiley.
15. Yang, X., Li, X., and Xue, K. (2004). “A new traffic-signal control for modern roundabouts: Method and application.” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
16. Вовк Ю. Аналіз стану транспортної системи України та перспективи її розвитку [Електронний ресурс] / Юрій Вовк // Соціально-економічні проблеми і держава. — 2015. — Вип. 2 (13). — С. 5-15.
17. Вовк Ю.Я. Комплексний підхід до вирішення проблем ресурсозбереження виробничих підприємств, сфери послуг та транспорту / Ю.Я. Вовк, О.Л. Ляшук, І.П. Вовк // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство (ТМІЕТ – 2017)", 21-22 вересня 2017 року, Херсон: ХДМА, 2017. - С. 15-16.
18. Вовк Ю.Я., Ляшук О.Л., Мосейко Ю.В., Хавтур П.В., Заривенний А.Р. Дорожній рух та його безпека: Програма «нульова смертність на дорогах» // Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти: матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 12 листопада 2019 року). Кривий Ріг, 2019. 346 с. – С. 71-74.
19. Вовк, Ю. Я., & Худобей, Р. В. (2021). Контроль дотримання безпеки перевезень на громадському транспорті в умовах карантинних обмежень з

використанням інтелектуальних транспортних систем. Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. 238 с.

20. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» дипломної роботи (для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології») / Укл.: Вовк Ю.Я., Цьонь О.П., Вовк І.П. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – 28 с.
21. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.