

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему **Обґрунтування параметрів та підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиці В.Матусевича та проспекту Металургів у місті Кривий Ріг**

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТТ-17 \_\_\_\_\_ О.В. Конохов  
(шифр групи) (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ В.О.Сістук  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор \_\_\_\_\_ Ю.А. Монастирський  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2021р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 – «Транспорт»

Спеціальність: 275 – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
автомобільного транспорту

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_”\_\_\_\_\_ 2021 р. \_\_\_\_\_./

## ЗАВДАННЯ

### НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

*КОНОХОВУ ОЛЕГУ ВІКТОРОВИЧУ*

1. Тема *Обґрунтування параметрів та підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиці В.Матусевича та проспекту Металургів у місті Кривий Ріг*

Керівник проекту Сістук В.О., к.т.н., доцент

затверджені наказом університету від 21.04.2021 2021 року № 323 с.

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат 10.06.2021

3. Вихідні дані до роботи: Навчально-методичне забезпечення з програм відеоаналізу руху DataFromSky та мікроімітаційного моделювання транспортних потоків PTV VISSIM.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Обґрунтування цілей дослідження та основні обмеження. Методологія дослідження на основі об'єднання інтелектуального відеоаналізу руху та комп'ютерного мікроімітаційного моделювання. Порівняльний аналіз альтернативних рішень.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графіки та діаграми по результатах досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруківки презентації для членів ДЕКУ.

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів                                                                                                                   | Строк виконання етапів | Примітка |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|
| 1     | Обґрунтування цілей дослідження та основні обмеження                                                                           | 21.04 -22.04           |          |
| 2     | Методологія дослідження на основі об'єднання інтелектуального відеоаналізу руху та комп'ютерного мікроімітаційного моделювання | 22.04-30.04            |          |
| 3     | Проведення обстежень                                                                                                           | 01.05 – 4.05           |          |
| 4     | Обробка результатів обстежень                                                                                                  | 04.05 – 14.05          |          |
| 5     | Оформлення пояснювальної записки і презентації                                                                                 | 14.05 – 21.05          |          |

Студент

\_\_\_\_\_  
( підпис )

О.В. Конохов

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
( підпис )

В.О. Сістук

## РЕФЕРАТ

Одним із місць концентрації дорожньо-транспортних пригод у місті Кривий Ріг за статистикою 2020 року є регульоване світлофором перехрестя вулиць «проспект Металургів – вулиця В. Матусевича». Актуальність обстеження транспортного руху на перехресті обумовлена зниженням безпеки руху у зв'язку із обмеженою видимістю при повороті транспортних засобів ліворуч по проспекту Металургів у напрямку житлового району Соцміста. Також для перехрестя характерне перекриття забороняючого сигналу для всіх напрямків. Рішенням щодо підвищення рівня організації та безпеки руху може виступати влаштування кільцевої розв'язки в межах існуючої площини проїзної частини.

Робота спрямована на перевірку даного рішення на основі комплексної методології сучасних транспортних досліджень, яка включає натурні обстеження інтенсивності транспортних потоків із повітряним відеозаписом руху у пікові години доби за допомогою безпілотного літального апарату, інтелектуальний відеоаналіз руху, мікроімітаційне моделювання сценаріїв, що порівнюються (базового та кільцевої розв'язки) із калібруванням імітаційної моделі за результатами інтелектуального відеоаналізу, техніко-економічним обґрунтуванням варіантів конфігурації транспортного вузла.

Об'єктом дослідження виступили нормальне перехрестя (базовий варіант) та кільцева розв'язка (перспективний варіант), а предметом дослідження – транспортно-експлуатаційні показники варіантів дорожнього будівництва та замісні показники безпеки руху.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 42 найменувань, 11 додатків. Загальний обсяг роботи – 77 с, з яких 58 основного тексту та 19 с додатків, 36 рисунків та 10 таблиць.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                                                   | 7  |
| РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ЦІЛЕЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОСНОВНІ ОБМЕЖЕННЯ .....                                                                          | 9  |
| 1.1. Обґрунтування вибору локації та часу проведення обстеження .....                                                                         | 9  |
| 1.2. Основні гіпотези щодо альтернативних рішень .....                                                                                        | 11 |
| 1.3. Обмеження методології дослідження .....                                                                                                  | 16 |
| 1.4. Висновки до розділу 1 .....                                                                                                              | 22 |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НА ОСНОВІ ОБ'ЄДНАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ РУХУ ТА КОМП'ЮТЕРНОГО МІКРОІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ..... | 23 |
| 2.1. Загальна характеристика методології .....                                                                                                | 23 |
| 2.2. Проведення повітряної відеозйомки локації.....                                                                                           | 29 |
| 2.3. Інтелектуальний відеоаналіз дорожнього руху на платформи DataFromSky .....                                                               | 30 |
| 2.4. Оцінка безпеки дорожнього руху за допомогою DataFromSky .....                                                                            | 33 |
| 2.5. Розробка базового варіанту мікроімітаційної моделі перехрестя у програмі VISSIM .....                                                    | 35 |
| 2.6. Калібрування базової моделі із використанням даних інтелектуального відеоаналізу руху.....                                               | 36 |
| 2.7. Висновки до розділу 2 .....                                                                                                              | 40 |
| РОЗДІЛ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ РІШЕНЬ .....                                                                                     | 41 |
| 3.1. Проектування кільцевого перетину за допомогою VISSIM.....                                                                                | 41 |
| 3.2.Калібрування імітаційної моделі кільцевої розв'язки.....                                                                                  | 44 |
| 3.3. Оцінка показників ефективності альтернативних рішень .....                                                                               | 46 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4. Порівняльний аналіз прогнозного рівня безпеки руху на перетині<br>(модель SSAM) ..... | 49 |
| 3.5. Висновки до розділу 3 .....                                                           | 52 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                              | 53 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                            | 55 |
| Додаток А. Конфігурація перетину .....                                                     | 59 |
| Додаток Б. Конфігурація кільцевої розв'язки .....                                          | 60 |
| Додаток В. Зони забезпечення видимості на перетинах .....                                  | 61 |
| Додаток Г. Алгоритм розробки та калібрування імітаційної моделі.....                       | 62 |
| Додаток Д. Дослідження перехрестя у платформі DataFromSky .....                            | 63 |
| Додаток Є. Імітаційна модель перехрестя .....                                              | 70 |
| Додаток Ж. Калібрування імітаційної моделі .....                                           | 72 |
| Додаток З. Імітаційна модель кільцевої розв'язки .....                                     | 73 |
| Додаток И. Експлуатаційні показники альтернативних рішень .....                            | 74 |
| Додаток І. Звіти SSAM .....                                                                | 77 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Нормальне перехрестя із світлофорним регулюванням руху проспекту Металургів та вулиці В. Матусевича за інформацією Національної поліції є місцем концентрації дорожньо-транспортних пригод у місті Кривий Ріг. Виникнення дорожньо-транспортних пригод на перехресті Національна поліція пов'язує із неправильною конфігурацією розв'язки, коли ширина проїзної частини на проспекті Металургів обмежує видимість повороту наліво.

Сучасним підходом до підвищення рівня безпеки руху на нормальному перехресті вважається влаштування саморегульованого кільцевого перетину із відповідним техніко-економічним обґрунтуванням. Дійсно, кільцеві розв'язки у порівнянні із звичайним перехрестям мають ряд переваг, у тому числі, пов'язаних із зменшенням кількості конфліктних точок між транспортними потоками з 32 до 8. При техніко-економічному обґрунтуванні експлуатаційні характеристики перетину можливо отримати безпосередньо за результатами мікромоделювання, яке, на відміну від прийнятих методів розрахунку, дозволяє врахувати безліч вхідних параметрів, реалістично відтворюючи конкретні умови руху. Надійність отриманих показників забезпечується при цьому збіжністю модельованих та натурних показників, яка визначається прийнятою методологією калібрування мікроімітаційної моделі.

У зв'язку з цим, актуальною задачею постає техніко-економічне обґрунтування нового будівництва кільцевої розв'язки на перехресті проспекту Металургів та вулиці В.Матусевича у місті Кривий Ріг із використанням мікроімітаційного моделювання та удосконаленої процедури калібрування імітаційної моделі.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є перевірка рішення щодо будівництва кільцевої розв'язки на перехресті проспекту Металургів та вулиці В.Матусевича у місті Кривий Ріг на основі техніко-економічного обґрунтування порівнювальних варіантів із використанням удосконаленої процедури калібрування мікроскопічних моделей.

### **Задачі дослідження:**

- обґрунтувати час проведення натурного обстеження перехрестя, вибору методології дослідження та врахувати її основні обмеження;
- провести інтелектуальний відеоаналіз дорожнього руху на перехресті за допомогою технології DataFromSky та отримати дані для калібрування імітаційної моделі;
- розробити імітаційну модель базового варіанту у платформі VISSIM та відкалібрувати її за допомогою результатів аналізу руху в DataFromSky;
- виконати проектування кільцевої розв'язки на базі VISSIM з урахуванням державних та галузевих будівельних норм;
- виконати техніко-економічне обґрунтування порівняльних варіантів у тому числі з оцінкою безпеки руху на основі SSAM-підходу та визначення рівня обслуговування для вироблення остаточного рішення.

**Об'єкт дослідження** – нормальне перехрестя та кільцева розв'язка.

**Предмет дослідження** – транспортно-експлуатаційні показники варіантів дорожнього будівництва та замісні показники безпеки руху.

**Методи дослідження.** Аналіз, синтез, узагальнення, системний підхід, штучний інтелект, збір вихідних даних у вигляді відеоспостережень, математична статистика, комп'ютерне імітаційне моделювання, детерміністичний підхід.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблені рекомендації щодо обґрунтування необхідності нового будівництва кільцевої розв'язки на перехресті вулиць «проспект Металургів – вул.В.Матусевича» служать прямим керівництвом для прийняття рішення щодо підвищення рівня безпеки руху на даній локації.

**Структура і обсяг роботи.** Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 42 найменувань, 11 додатків. Загальний обсяг роботи – 77 с, з яких 58 с основного тексту та 19 с додатків, 36 рисунків та 10 таблиць.

## РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ЦІЛЕЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОСНОВНІ ОБМЕЖЕННЯ

### 1.1. Обґрунтування вибору локації та часу проведення обстеження

Метою дослідження є підвищення рівня безпеки дорожнього руху на ділянці вулично-дорожньої мережі у місті Кривий Ріг та покращення стану організації руху.

Для дослідження стану безпеки та організації руху обрано перехрестя вулиць В. Матусевича та проспекту Металургів у місті Кривий Ріг. Відповідно до звіту Національної поліції [1], станом на квітень 2021 року перехрестя залишається місцем концентрації дорожньо-транспортних пригод. Також дана ділянка характеризується високим транспортним навантаженням у певні періоди доби.

Перехрестя знаходиться в Металургійному районі Кривого Рогу (житловий район Соцміста), поблизу до міськвиконкому, парку Героїв, торговельних комплексів Multiplex Union, Сільпо, Фокстрот. Найближча велика транспортна розв'язка – площа Горького (кільце 95-го кварталу). Проспект Металургів має 3 смуги руху в одному напрямку, починається на площі Горького та прямує до Нікопольського шосе (зупинка «Авторинок Термінал»). Характеризується щільною міською забудовою із наявністю таких місць тяжіння населення як парк імені Б. Хмельницького, стадіон «Металург» (на реконструкції), ринок Соцміста.

По вулиці В.Матусевича на схід від досліджуваного перехрестя розташовані розважальний комплекс «Юніон», Палац Молоді і студентів, Криворізький національний університет. На заході до перехрестя примикає вулиця Володимира Бизова, яка пов'язує район Соцміста з міською лікарнею №1 із виїздом на проспект Миру (через вулицю Гетьманську).

Перехрестя регульоване трьохсекційними світлофорами. Транспортні та пішохідні потоки розділені у часі окремими світлосигнальними

установками. Циклограма світлофорного регулювання представлена у роботі у п.2.5. Супутникове зображення досліджуваного перехресті показано на рис.А.1.

Виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП) на перехресті Національна поліція пов'язує із неправильною конфігурацією розв'язки, коли ширина проїзної частини на проспекті Металургів обмежує видимість повороту наліво. Додатковий негативний вплив має неузгодженість у розташуванні суцільної дорожньої розмітки 1.1 по вулиці В. Матусевича, яка розділяє потоки протилежних напрямків, оскільки вона не співпадає із умовною віссю, яка переходить в аналогічну суцільну розмітку по вулиці В. Бизова (рис.А.2), що створює небезпеку при намаганні водіїв вписатись у смугу руху на вулиці В.Бизова після проїзду перехрестя (якщо рух розглядаємо збоку вулиці В.Матусевича).

Крім того, циклограма світлосигнальних установок налаштована таким чином, що протягом 5 с відбувається перекриття сигналів, коли забороняючий сигнал світлофору актуальний для всіх напрямків.

Незважаючи на комплекс недоліків у роботі даного перехрестя, актуальність дослідження транспортного руху саме на ньому обумовлена, перед усім, зниженням безпеки руху у зв'язку із обмеженістю у маневрах транспортних засобів ліворуч по проспекту Металургів у напрямку житлового району Соцміста.

Основі кореспонденції, що проходять через дане перехрестя пов'язані із діловими поїздками (типу «робота – дім»), причому пікова година починається з 16-00 – 17-00, коли основний потік спрямовано від Соцміста. Це й визначило час проведення обстеження інтенсивності руху на перехресті:

- робочий день, репрезентативний для транспортних досліджень (вівторок, середа, четвер);
- період часу з 16-00 до 18-00.

Таким чином, зниження рівня безпеки руху на перехресті вулиці В. Матусевича та проспекту Металургів обумовлено неправильною

конфігурацією розв'язки та неузгодженістю циклів транспортних світлосигнальних установок.

## 1.2. Основні гіпотези щодо альтернативних рішень

Встановивши причини зниження рівня безпеки руху, стає доцільним визначити можливі рішення проблемної ситуації на перехресті. Звичайно, глибокий аналіз причин підвищення рівня небезпеки та погіршення існуючого стану руху потребує проведення обстеження інтенсивності транспортного та пішохідного руху у польових умовах та використання сучасних програмних інструментів підтримки та вироблення рішень.

За витратами найбільш доцільним виглядає налаштування світлофорної сигналізації (зміна тривалості циклів регулювання) із розробленням відповідного проекту циклограми. Вже багато років саме світлофорне регулювання вважається найбільшим ступеням локалізації стосовно безпеки руху (розподіл потоків у часі), створюючи основні умови для руху не тільки на окремому перехресті, а у вулично-дорожній мережі у цілому. Однак ефективність світлофорного регулювання знижується за наявності змінних транспортних навантажень, коли пікові періоди є нетривалими і нестійкими, що характерне для ділянки дослідження. В інші періоди часу світлофорне регулювання, перериваючи транспортний потік, призводить до зменшення його середньої швидкості, негативно впливаючи на пропускну здатність перехрестя.

Крім того, тільки налаштування світлофорного регулювання не вирішує проблему конфігурації розв'язки. Під зміною конфігурації розуміється реконструкція перетину, яка спрямована у нашому випадку на заспокоєння руху.

У сучасних умовах одним із методів запобігання виникненню ДТП є влаштування кругового руху (кільцевий перетин малого або середнього

діаметра). Основні елементи такого кільцевого перетину представлено на рис.Б.1.

У роботах закордонних дослідників [1] доведено, що рівень аварійності не кільцевих перетинах значно менший, ніж на нормальних перехрестях із світлофорами. За даними Страхового інституту безпеки дорожнього руху США— Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) [2], кільцеві розв'язки дозволяють зменшити кількість травматизму при аваріях на 75% у порівнянні з нерегульованими або регульованими світлофором перехрестями. Дослідження кільцевих розв'язок у США (IIHS та Федеральної агенції автомобільних доріг (FHWA)) показали, що на кільцевих розв'язках можна досягнути таких показників безпеки:

- зменшення на 37% загальної кількості ДТП;
- зменшення на 75% випадків травматизму при ДТП;
- зменшення на 90% смертності при ДТП;
- зменшення на 40% травматизму пішоходів.

До причин, за яких круговий рух на кільцевих розв'язках дозволяє підвищити безпеку руху та знизити суворість конфліктів, відносять наступні факти.

*Низька швидкість руху на кільці.* Перед тим, як виїжджати на кільце, водії повинні сповільнитись і дати дорогу транспортним засобам на кільці. Швидкість руху на кільці, у свою чергу, зазвичай становить від 15 до 20 км/год. Нечисленні зіткнення, які трапляються на кільцевих розв'язках, як правило, незначні за наслідками, оскільки відбуваються на таких низьких швидкостях.

*Відсутність світлофору, на який водій намагається встигнути проїхати.* Кільцеві розв'язки сприяють безперервному круговому потоку руху. Водіям потрібно дати дорогу лише перед виїздом на перетин; якщо ж на кільці рух відсутній, водії не зобов'язані зупинятися. На відміну від перехресть зі світлофорами, водіям не потрібно чекати зеленого світла світлофору на кільці, щоб проїхати через перехрестя. Оскільки рух транспорту постійно протікає через перехрестя, водії також не мають стимулу пришвидшуватися,

щоб спробувати встигнути проїхати на зелений сигнал світлофору, як це має місце на нормальному перехресті.

*Плавний під'їзд та спрямований рух в одному напрямку на кільці.* Під'їзди до кільця представляють собою криві у плані, спрямовуючи водіїв та допомагаючи їм плавно проїхати перехрестя проти годинникової стрілки. Кривизна під'їздів та односторонній рух навколо кругового перехрестя суттєво нівелюють можливість бічних та лобових зіткнень.

*Немає необхідності зупинки руху.* Зупиняти дорожній рух не виникає потреби – достатньо зупинитись перед кільцевою розв'язкою, звідси перехрестя може сприйняти більший потік за той самий проміжок часу (водночас пропускна спроможність обмежена довжиною кільця).

*Зменшення кількості конфліктних точок на перехресті.* На звичайному перехресті налічується 32 конфліктні точки, у той час на кільцевій розв'язці – 8 (рис.Б.2).

*Поліпшення умов руху пішоходів.* Скорочується довжина пішохідних переходів через проїзну частину перехрестя.

У дослідженнях  вимірюванню підлягали інтенсивності транспортного потоку на перехрестях до та після їх реконструкції на кільцеві перетини. В кожному випадку запровадження кругового руху призвело до зменшення затримок на перетині на 20%. Додаткові дослідження ПHS перехресть у трьох штатах виявили, що кільцеві перехрестя сприяли зменшенню затримок на 89% та кількості зупинок автомобілів на 56%.

Крім того, різниця у вартості між будівництвом кільцевої розв'язки та утриманням світлофорної сигналізації є порівнянною. Там, де враховуються довгострокові витрати, кільцеві розв'язки виключають витрати на обладнання, технічне обслуговування та електроенергію, пов'язані з світлосигнальними установками.

Кільцеві розв'язки також ефективніші під час відключення електроенергії. На відміну від регульованих світлофором перехресть, для яких у наведеному випадку необхідна зупинка транспортних потоків на чотири

сторони або від поліції вимагається регулювання руху, кругові перехрестя продовжують працювати у звичайному режимі.

Для кільцевої розв'язки може знадобитися більше простору в межах існуючого перехрестя, але такий перетин часто займає менше місця на під'їздах. Оскільки кільцеві розв'язки можуть ефективніше обробляти більші обсяги руху, ніж регульовані перехрестя, де водіям транспортних засобів (ТЗ), можливо, доведеться вишикуватися в чергу, щоб дочекатися зеленого сигналу світлофору, для ділянок наближення до перетину, як правило, потрібно менше смуг руху.

Кільцеві розв'язки безпечні та ефективні, але вони не є ідеальною альтернативою. Розглядаємо декілька умов щодо прийняття рішення про будівництво кільцевої розв'язки на конкретній локації. Інженери враховують такі характеристики при визначенні найкращого рішення для конкретного перехрестя:

- *статистика ДТП* – аналізуються дані про кількість нещасних випадків, тип аварій, швидкості потоків та інші фактори, що цьому сприяють.
- *експлуатаційні характеристики* – рівень поточної та прогнозованої затримки проїзду, а також технічне забезпечення по кожній ділянці перехрестя.
- *типи транспортних засобів, що використовують перехрестя* – склад транспортних потоків на перехресті, особливо важливий для перехресть, які часто використовуються великовантажними автомобілями.
- *вартісні показники* – включають соціально-економічні втрати від ДТП, право прокладання дороги відповідно до чинного землеустрою та потреби у довгостроковому обслуговуванні.

В Україні основними нормативними документами, якими керуються при реконструкції міських перетинів є ДБН 360 [], ДБН В.2.3-4:2015 [], ДБН В.2.5-28 [], ДБН А.2.2-3 [], ГБН В.2.3-37641918-555:2016 [], ДСТУ 8752:2017 [].

Загальні питання містобудування відображені в ДБН 360. У свою чергу, ДБН В.2.3-4:2015 вказує, що «технічні рішення при проектуванні автомобільних доріг повинні забезпечувати високі транспортно-експлуатаційні показники дороги, охорону навколишнього середовища, безпеку дорожнього руху за мінімально можливих матеріальних та фінансових витрат» (п.4.4.3). У тому ж нормативному документі у п. 9.2.1.4 зазначено, що «вибір класу і схеми транспортних розв'язок та обґрунтування технічних рішень необхідно виконувати на основі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням їх пропускної спроможності, безпеки і зручності руху, дорожньо-транспортних витрат, архітектурно-естетичних вимог, вимог охорони навколишнього середовища та раціонального використання лісових та сільськогосподарських угідь», що дещо розширює тлумачення п. 4.4.3.

Питання забезпечення видимості на транспортних розв'язках, яке є актуальним для досліджуваного перехрестя, в ДБН В.2.3-4:2015 розглядається окремо із наведенням схем зон видимості (рис.В.1, рис.В.2).

Стандарт рекомендує □ влаштовувати «транспортні розв'язки кільцевого типу на дорогах II – IV категорій, якщо інтенсивність руху на дорогах, що перехрещуються, однакова або відрізняється не більше ніж на 20 %, а інтенсивність руху на лівоповоротних напрямках становить не менше ніж 40 %» (п. 9.2.2.3), що може служити прямим керівництвом при обґрунтуванні необхідності реконструкції перехрестя вулиці В. Матусевича та проспекту Металургів.

Для проектування та вибору класу і схеми транспортних розв'язок особливо важливим є ГБН В.2.3-37641918-555:2016 □, де наведено відомості щодо техніко-економічного порівняння варіантів (п. 4.3.1, п. 4.3.2). У документі представлені основні вимоги до проектування кільцевих транспортних розв'язок, в основі якого лежить поняття динамічного габариту.

ДСТУ 8752:2017 □ присвячений безпеці дорожнього руху. В ньому відображені питання складання проєкту організації руху (п.5.4, п.7.1, п.9.1) та перелік робіт, пов'язаних зі створенням проєктної документації по організації

дорожнього руху, у тому числі рішень про застосування комплексів відповідних технічних засобів (ТЗОДР), де «розділ з організації дорожнього руху у проектній документації на будівництво, ремонт дороги (вулиці), об'єкт дорожнього сервісу має містити пояснювальну записку, схему організації дорожнього руху, зведені таблиці ТЗОДР, ескізи ДЗП».

Перераховані переваги кільцевих розв'язок визначені завдяки зарубіжному досвіду. У практиці вітчизняного дорожнього будівництва кільцеві розв'язки не отримали широкого поширення, що пов'язано, перед усім, не тільки із хронічною недостатністю фінансування будівництва доріг, але й обмеженістю нормативної бази.

Таким чином, обґрунтування необхідності альтернативного рішення у вигляді реконструкції перехрестя вулиць В.Матусевича та проспекту Металургів з нормального перетину на кільцевий є актуальною задачею. Вирішення цієї задачі передбачає використання сучасних інструментів аналізу дорожнього руху та запозичення зарубіжного досвіду. До таких інструментів відносять програми комп'ютерного мікроскопічного імітаційного моделювання для виробки альтернативних рішень та інтелектуального відеоаналізу руху для оцінки поточної дорожньо-транспортної ситуації.

### 1.3. Обмеження методології дослідження

Для оцінки альтернативного рішення із реконструкції перехрестя у кільцеву розв'язку використовуємо програму мікроімітаційного моделювання дорожнього руху. Для оцінки фактичної дорожньо-транспортної ситуації та визначення показників інтенсивності руху застосовується програма інтелектуального відеоаналізу руху.

Синергія між інформаційними технологіями та інжинірингом в області транспортних технологій породила нове покоління програмних засобів на основі мікроімітаційного моделювання, які дозволяють аналізувати складні транспортні операції. Дані програми часто є перевантаженими ситуаціями, які

зазвичай виходять за межі сфери аналізу за допомогою звичайних аналітичних або макроскопічних процедур математичного моделювання. Пакети прикладних програм мікромоделювання тепер надають функції, які варіюються від візуалізації до розробки інтелектуальної системи управління рухом. Візуалізація виявилася корисною для представлення рішень з якісною тривимірною графікою. Однак існує небезпека застосувати мікроімітаційного моделювання до будь-якої дорожньої ситуації без належного врахування методологічних обмежень.

До обмежень методу імітаційного моделювання, представлених у відкритих джерелах, відносять наступне.

1. *Математичні моделі в основі відповідного програмного забезпечення не завжди адекватно дозволяють відтворювати транспортну затримку.* Більшість імітаційних моделей використовують прості алгоритми слідування за лідером та зміни смуги руху для визначення руху автомобіля. В умовах високого транспортного навантаження відображення поведінки водія даними моделями не є достатньо реалістичним. У той же час, спосіб моделювання заторів часто є критичним для отриманих результатів.

2. *Якість вихідних показників суттєво залежить від якості калібрування моделі.* Для отримання якісних результатів, імітаційна комп'ютерна модель транспортної розв'язки підлягає калібруванню, яке представляє собою процедуру зміни параметрів моделі за замовчуванням на параметри, що відображають локальні умови на дорозі. Незважаючи на чисельні спроби дослідників розробити універсальний алгоритм калібрування [1], наразі загальновизнана методика калібрування імітаційної моделі відсутня. Процес також ускладнюється необхідністю врахування різних параметрів для кожного окремого випадку моделювання, що суттєво збільшує час процедури калібрування, де кожна ітерація може призвести до неприйнятних результатів на виході, підриваючи довіру вже до методу імітаційного моделювання. Витрати часу на калібрування, як правило, перевищують часові ресурси на розробку моделі.

Як приклад, показниками, що підлягають калібруванню можуть виступати: час у дорозі, середня часова затримка між ТЗ, розподіл прибуття ТЗ. Калібрування часу у дорозі може виявитись еквівалентним калібруванню затримки, викликаной геометрією розв'язки. Середня часова затримка між ТЗ визначає швидкість розсіювання черги на перехресті, а отже, впливає на затримку, пов'язану із організацію руху. Довжина черги в основному залежить від розподілу часу прибуття ТЗ, а саме, кількості ТЗ, що прибувають наприкінці черги, що утворилась. Калібрування часу проїзду може не мати значного впливу на загальну затримку. Ефект величини проміжку часу між ТЗ (headway) значно більший. У будь-якому разі кожен проект транспортної розв'язки може мати конкретний набір параметрів для калібрування, не обмежуючись наведеними вище параметрами.

3. *Моделювання забруднення навколишнього середовища від транспорту залишається відкритим питанням.* Значні зусилля спрямовуються на створення моделей викидів відпрацьованих газів для подальшого їх включення в імітаційні моделі. Для деяких викидів ця задача вирішується, але для інших характерні складні хімічні реакції, що ускладнює прогнозування їх виникнення. Також виявляється важко отримати надійні дані про викиди відпрацьованих газів у змішаному транспортному потоці. Крім того, базові моделі викидів потребують задавання фактичних параметрів двигунів внутрішнього згоряння (клас екологічності), що потребує знань не тільки про склад потоку за видами транспорту, а й за моделями (марками) автомобілів.

4. *Проблема інтеграції середовищ та загальних даних.* Імітаційні моделі часто використовуються у комплексі з іншими транспортними моделями. Існують загальні вхідні дані, необхідні для всіх цих моделей, такі як, наприклад, дані про місця призначення, топологія мережі та визначення маршрутів. Однак кожна модель часто вимагає даних у власному форматі, тому додаткові зусилля витрачаються на повторне введення даних або написання програм перетворення.

5. *Ускладнена оцінка безпеки руху.* Більшість моделей прогнозування безпеки руху є дуже грубими, вони базуються на потоках транспортних засобів на певних дорогах або на зміні смуги руху за усередненої швидкості ТЗ. На сьогодні вихідні показники дорожнього руху, отримані на основі мікромоделювання транспортних потоків, не можуть служити прямим керівництвом для оцінки безпеки дорожнього руху. Однак за останні роки це питання поступово вирішується, коли імітаційні моделі більше не ігнорують вразливих учасників дорожнього руху, таких як велосипедисти чи пішоходи.

5. *Необхідність розроблення стандартних процедури та показників оцінки.* Імітація руху повинна давати результати, які реалістично класифікують альтернативи. Ранжування альтернатив представляється як функція обраних показників ефективності та використовуваних ваг. Необхідним стає за таких умов розробити стандартні набори показників ефективності та процедур, які застосовуватимуться.

Одним із передових програмних продуктів для проведення імітаційного моделювання транспортних розв'язок є VISSIM від PTV, в основі якого лежить психофізична модель слідування за лідером Wiedemann 74 (міський рух) та Wiedemann 99 (автомагістраль).

VISSIM має потужну модель прийняття рішень маршрутизації транспортного засобу, що дозволяє вводити велику кількість даних підрахунку руху. Поведінку водія можна змодельовати окремо для кожного напрямку руху в моделі. Це дозволяє моделювати більш агресивну поведінку водіння поблизу місць спостереження, для яких характерний значний час очікування. Водії, які потрапляють у перевантажені умови руху, схильні до більш агресивних маневрів при зміні смуги. Моделювання не може повторити такий тип поведінки із параметрами за замовчуванням.

Однією з переваг програми є те, що користувач може перемикає набори поведінки водія для кожної кореспонденції, оскільки більш агресивна поведінка не пов'язана з іншими частинами мережі, а лише з ділянками, розташованими поруч із місцями спостереження.

Якщо дослідник не має знань з програмування, потрібно належним чином перевірити модель з точки зору часу очікування. За замовчуванням не існує опції, яка дозволяє моделювати затримки в певні періоди часу (затримка на перехресті є вихідним параметром). Дорожні знаки у VISSIM мають опцію розподілу часу (затримки), але лише для всього періоду моделювання, а не конкретних часових рамок. Поведінка зміни смуги руху у важких умовах перевантаження повинна бути ретельно відрегульована; інакше ТЗ не будуть поводитися реалістично. Наприклад, якщо параметри залишені за замовчуванням, деякі смуги, близькі до пункту спостереження, будуть порожніми, а інші будуть заповнені ТЗ, що стоять у черзі. Це пов'язано із набором параметрів поведінки водія за замовчуванням. Для удосконалення моделі поведінки водія, користувач повинен встановити більш агресивні параметри поведінки водіння. Крім того, VISSIM також не має належного набору інструментів, коли мова йде про обмеження руху за смугами. Якщо користувач хоче закрити деякі смуги на певний проміжок часу, для VISSIM необхідно застосувати спеціально написаний для цієї мети програмний код.

Окрім конфігурації розв'язки, що відноситься до питання транспортної інфраструктури, основним вхідним параметром для імітаційної моделі є інтенсивність транспортного та пішохідного руху.

У теперішній час для автоматизації збору вихідних даних по інтенсивності транспортних навантажень на ділянках транспортних мереж, автомагістралях, перехрестях різних конфігурацій використовуються детектори транспорту за типом індукційної петлі разом із ультразвуковими датчиками, або відео детектори, які через IP-протокол передають дані щодо кількості транспортних засобів на певній ділянці до контролеру дорожнього руху, адаптуючи алгоритм його роботи до поточної ситуації на дорозі. Альтернативою даному способу є візуальні спостереження за складом та інтенсивністю транспортних потоків безпосередньо на ділянці дослідження. Однак дані методи збору даних мають ряд недоліків, пов'язаних із необхідністю виїзду на ділянку мережі, залучання додаткової кількості

персоналу для одночасного спостереження на декількох напрямках, фіксації обладнання у конкретному місці (як правило, на висоті 3,5 –12 м над дорожнім полотном), обмеженістю оглядового кута, значною вартістю розгортання системи датчиків на перехрестях, що займають великі площі. Окрім того, стандартна система спостереження розташовується зазвичай тільки на вхідних та вихідних ділянках транспортної розв'язки, що може послужити обмежуючою умовою при подальшій оцінці дорожнього руху на перехресті.

Програми автоматизованого відеоаналізу інтенсивності транспортних потоків із застосуванням штучного інтелекту виглядають альтернативною традиційним методам обробки польових даних про дорожній рух [1].

Попередньо записаний відеофайл дорожнього руху завантажується у хмарне сховище програми, де він аналізується за допомогою штучного інтелекту. На виході отримуємо стиснутий робочий файл траєкторій для опрацювання в у спеціальній утиліті.

Використання таких програм для оцінки інтенсивності руху має ряд обмежень.

1. Відкритим залишається питання відповідності заявленої точності підрахунку інтенсивності транспортних потоків фактичним показникам.

2. Для якісного розпізнання об'єктів відстеження необхідна якісна відеозйомка, яка може бути отримана в основному з повітря за допомогою безпілотного літального апарату (БПЛА).

3. БПЛА мають обмежений час польоту, який залежить від ємності акумулятора, що не дозволяє безперервно підраховувати кількість ТЗ як при візуальному методі обстежень.

4. Завантаження відеофайлу руху у хмару програми в залежності від розміру файлу може зайняти тривалий час (10-12 годин для відеоролика із роздільною здатністю full HD та тривалістю 15 хв.).

Однак дані недоліки перекриваються можливістю отримати повну статистику дорожнього руху по кожному об'єкту відстеження, яка у свою, чергу, може бути використана для калібрування імітаційної моделі.

#### 1.4. Висновки до розділу 1

Нормальне перехрестя вулиць В.Матусевича та проспекту Металургів є регульованим світлофорною сигналізацією перехрестям та місцем концентрації ДТП у Кривому Розі. Зниження безпеки руху на даному перехресті Національна поліція пов'язує із:

- неправильною конфігурацією розв'язки, яка обумовлює обмеженість у маневрах транспортних засобів ліворуч по проспекту Металургів у напрямку житлового району Соцміста;
- налаштуванням світлофорної сигналізації із заборонаю руху ТЗ на всіх напрямках протягом 5 с.

Окрім названих потенційних причин ДТП, виходячи із супутникового зображення перехрестя стає зрозумілим, що за рахунок відсутності співвідношення примикань дороги у плані, дорожня розмітка 1.1 по вулиці В. Матусевича, яка розділяє потоки протилежних напрямків, не співпадає із умовною віссю, яка переходить в аналогічну суцільну розмітку по вулиці В. Бизова, що погіршує умови руху ТЗ при проїзді перехрестя за даним напрямком.

Заходом з підвищення безпеки руху на перехресті та якості організації руху може виступати влаштування кільцевої розв'язки без світлофорного регулювання. Сучасний досвід будівництва та реконструкції перетинів у частині розбудови кільцевих розв'язок довів, що вони характеризуються у порівнянні з нормальними перехрестями значно вищим рівнем безпеки руху з огляду на ряд факторів, описаних у даній роботі. Однак даний сценарій потребує попереднього обґрунтування з урахуванням норм дорожнього будівництва та основних обмежень запропонованої методології досліджень. Остання включатиме оцінку фактичних показників руху за допомогою технології інтелектуального відеоаналізу руху та розробку й калібрування на основі отриманих показників імітаційної моделі для двох варіантів конфігурації розв'язки з метою вироблення остаточного рішення.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НА ОСНОВІ ОБ'ЄДНАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ РУХУ ТА КОМП'ЮТЕРНОГО МІКРОІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### 2.1. Загальна характеристика методології

Показники інтенсивності транспортних потоків та статистика дорожнього руху визначались за допомогою програми інтелектуального відеоаналізу руху DataFromSky.

Програма використовується для перегляду, створення та редагування, аналізу даних відеоспостереження руху ТЗ та пішоходів. ТЗ, що розпізнається за допомогою алгоритмів штучного інтелекту, має конкретну траєкторію руху, що визначає його положення у просторі та часі. Для класифікації та детектування кожному ТЗ програма присвоює унікальний ідентифікаційний номер (ID). Після позначення частини робочого простору (відеокадру) за допомогою програмних атрибутів (віртуальні лічильники (*Gates*), смуги (*Lanes*), область дії (*Action region*) та інші) відкривається статистика у вигляді зародження-призначення кореспонденцій (*OD-matrices*) між вхідними та вихідними лічильниками. Для отриманої OD-матриці мається можливість обрати параметри, що задовільнять користувача, будь-то загальна кількість об'єктів від кожного вхідного до кожного вихідного лічильника за час відеоролику (або певний відрізок часу), відношення між максимальною або загальною кількістю об'єктів на однієї з пар лічильників і кількістю об'єктів, які пройшли через дану пару лічильників.

Для отримання детальної статистики по швидкостям/прискоренням об'єктів відстеження проводиться процедура геопосилання відеокадру, тобто його прив'язки до ортогональних географічних координат (щонайменше за 4 точками).

Підсумовуючі основний набір функцій програми DataFromSky виглядає таким чином:

- експорт динаміки руху (*Trajectories Movement Dynamics*) у файл формату CSV;
- експорт даних аналізу руху у файл Excel;
- експорт величин «інтервалу часу» (*Gap-Time*) та «часу до слідування» (*Time to Follow Data*);
- експорт матриць «зародження-призначення» (*Origin-Destination matrices*);
- експорт графіків потоку «зародження-призначення» (*Origin-Destination Flow Graphs*);
- розрахунок статистичних параметрів інтервалів часу між двома послідовними ТЗ у потоці руху (*Headway*).

Також програма дозволяє виконати аналіз дорожнього руху на основі:

- визначення транспортних навантажень на лічильниках;
- класифікації всіх об'єктів (включаючи велосипедів або пішоходів);
- розширених функцій експорту в файли форматів CSV, XLS;
- підрахунку матриць зародження-призначення/ поворотів у визначених напрямках – їх кольорове позначення, Excel-звіту для всіх налаштованих лічильників;
- вимірювання швидкості та прискорення в конкретній точці робочого простору, відображаючи кольорове позначення та створюючи теплові карти робочого простору;
- аналізу безпеки руху на основі замісних показників (часу до зіткнення (*TTC*), часу після вторгнення (*PET*), екстреного гальмування (*Heavy Braking*)).

Оскільки програма визначає тип кожного об'єкта транспортного потоку, швидкості руху кожного ТЗ від вхідного до вихідного лічильника (після виконання процедури геопосилання), то для конкретного напрямку (маршруту) у програмі імітаційного моделювання стає можливим задати склад потоку ТЗ та розподіл швидкості руху, що наближатиме модельовані та фактичні показники, підвищуючи якість транспортної моделі.

Виходячи з цієї ідеї, науковим керівником даної роботи розроблено методологію дослідження транспортних розв'язок, засновану на об'єднанні інтелектуального відеоаналізу руху та комп'ютерного мікроімітаційного моделювання.

Алгоритм розбудови імітаційної моделі загальновідомий, детально описаний у відповідних керівництвах та наукових публікаціях [1], й представлений на рис.Г.1, тому окремо на ньому зупинятись не будемо.

Процедура калібрування імітаційної моделі виглядає у загальному випадку так, як показано на рис.Г.2 та включає такі етапи:

1. Визначення калібрувальних параметрів;
2. Вибір досліджуваних техніко-економічних показників ефективності та даних для валідації.
3. Визначення числа імітацій, необхідних для досягнення довірчого інтервалу 95% із абсолютною похибкою 5% для всіх показників ефективності.
4. Встановлення критеріїв та цілей калібрування.
5. Виконання ітераційних калібрувань у вигляді зміни обраних параметрів та повторної імітації до тих пір, поки отримані результати моделювання будуть відображати реальні умови (фактичні показники руху) із заданою точністю або задовольняти цілям калібрування.

Основними параметрами для калібрування виступає модель поведінки водія (Wiedemann 74/99 у VISSIM) та параметри ТЗ. Модель поведінки водія безпосередньо визначає взаємодію учасників руху, впливають на швидкість руху, можливість утворення заторів, стиль водіння та обрання рішень щодо зміни напрямків руху. При аналізі результатів моделювання та виборі найкращої альтернативи необхідно визначити статистичну різницю між варіантами, що розглядаються. На практиці з цією метою використовують метод перевірки нульової гіпотези, ANOVA тест [2] та інші методи математичної статистики, що дещо ускладнює процедуру калібрування.

Об'єднання інструментів імітаційного моделювання та інтелектуального відеоаналізу руху у єдине інформаційне середовище може бути схематично представлено на рис.2.1.

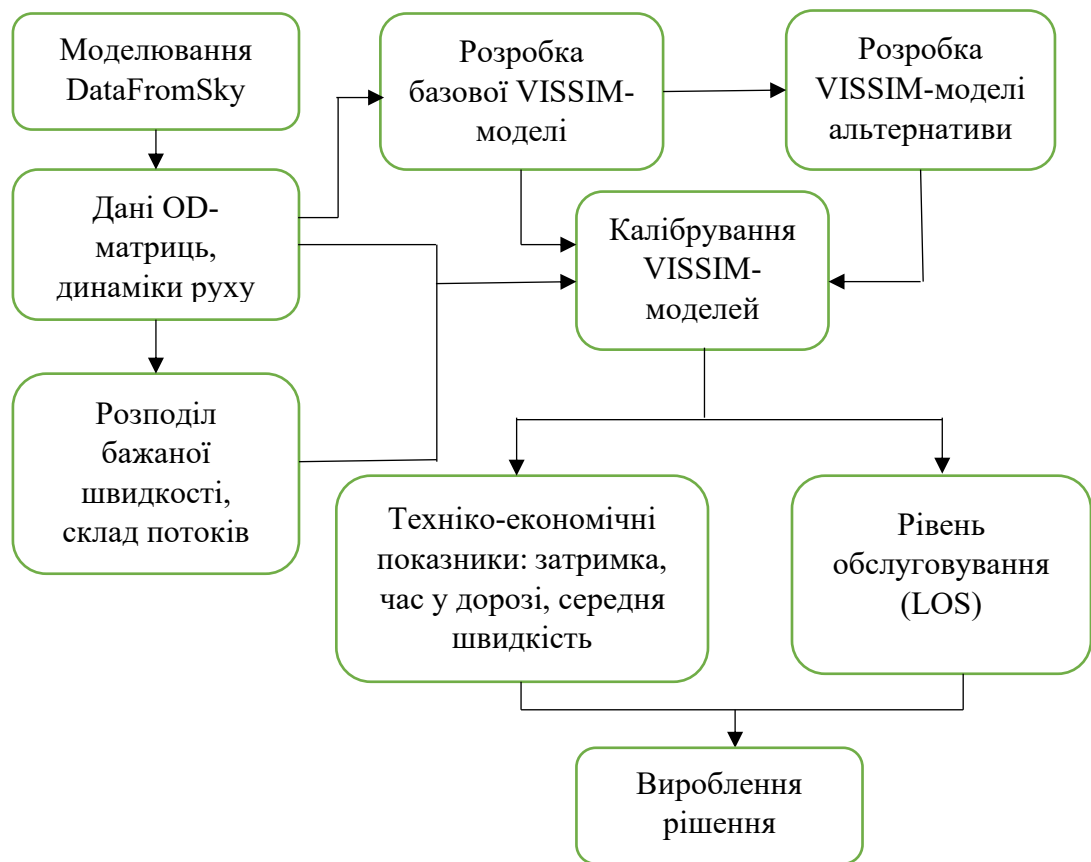


Рис.2.1. Алгоритм дослідження.

Як видно з рис.2.1, калібрування імітаційних моделей різних варіантів рішень є ключовим етапом дослідження.

На початку проводиться польове обстеження необхідної локації у пікові години з отриманням відеозапису руху за допомогою БПЛА із тривалістю не менше 15 хв. Відеозапис завантажується в хмару DataFromSky, у якій в автоматичному режимі створюється файл протоколу трасування (із розширенням “tg1x”). Такий тип файлу обробляється в утиліті DataFromSky Viewer створенням нової конфігурації позначень робочого відеокادру із відповідними лічильниками, смугами, вузлами, а також просторовою прив’язкою відеокадру (геопосилання). Дані інтенсивності транспортних

(та/або пішохідних потоків) по кожній кореспонденції (OD-матриці) та статистика динаміки руху експортуються у форматі CSV.

Розробляються дві імітаційні моделі транспортної розв'язки, одна з яких є базовим варіантом (існуюча ситуація), інша – альтернативою (запропоноване рішення).

Вхідними даними для розробки імітаційної моделі є геометричні параметри транспортної розв'язки (довжина ділянки, ширина смуги, кількість поворотів), засоби організації дорожнього руху (світлофорні об'єкти, знаки дорожнього руху, розмітка на дорозі), транспортний попит (інтенсивність вхідних потоків, поворотні потоки, матриці зародження-призначення) [1].

Даними для калібрування моделей виступають результати відеоаналізу руху в DataFromSky. Калібрування моделі проводиться за такими показниками:

- інтенсивність транспортного, а за необхідності й пішохідного рухів;
- швидкість транспортного потоку (функція закону розподілу) для кожного вхідного напрямку;
- склад транспортного потоку для кожного вхідного напрямку;
- середня величина уповільнень/прискорень руху (у моделі зміни смуги руху).

Після вдалої процедури калібрування імітаційна модель вважається придатною для аналізу техніко-економічних показників ефективності руху на досліджуваному перетині (*Measures of effectiveness*) таких як: середній час у дорозі; середня величина черги на перехресті; середня затримка, пов'язана із зупинками. Представлена система показників ефективності є базовою та необхідною. Обґрунтування необхідності її розширення не входить до задач даної роботи й може розглядатись у контексті подальшого розвитку методології.

Додатковим інструментом аналізу виступає оцінка якості організації руху за допомогою визначення рівня обслуговування (level-of-service – LOS), який розраховуються як методами, представленими у керівництві по оцінці

пропускної здатності Highway Capacity Manual (HCM) [41], так й за результатами транспортного моделювання [41] (табл.2.1). Визначення LOS виконується у VISSIM в напівавтоматичному режим налаштуванням атрибутів користувача (*user-defined attributes*). Процедура детального налаштування атрибутів користувача та відповідний код представлені у роботі наукового керівника [41].

Табл.2.1

**Порівняння критеріїв оцінки транспортної розв'язки за HCM-методом та при моделюванні в PTV VISSIM**

| Критерій оцінки для визначення LOS    | HCM-метод | PTV VISSIM |
|---------------------------------------|-----------|------------|
| Швидкість                             | +         | +          |
| Час їздки                             | +         | +          |
| Довжина черги                         | +         | +          |
| Тривалість їздки                      | +         | +          |
| Щільність потоку                      | +         | -          |
| Затримка ТЗ                           | +         | +          |
| Затримка пішоходів                    | +         | +          |
| Коефіцієнт завантаження               | +         | -          |
| Інтервал руху громадського транспорту | +         | -          |
| Викиди відпрацьованих газів           | -         | +          |

На основі визначених техніко-економічних показників та рівня обслуговування (LOS) вибирається найкраща альтернатива.

Детальне описання кожного етапу методології представлено у наступних пунктах даного розділу.

Представлена методологія має ряд переваг та недоліків. До переваг можна віднести:

- метод інтелектуального відеоаналізу дорожнього руху дозволяє отримати дані про інтенсивність та склад транспортного потоку за необхідний період часу на розв'язці/ділянці у цілому одночасно за всіма напрямками руху, що суттєво підвищує якість польових даних у порівнянні із методом візуального обстеження;

- метод інтелектуального відеоаналізу дорожнього руху дозволяє проводити оцінку організації руху із можливістю фіксації та перевірки даних за подіями минулих періодів;

- урахування динаміки транспортного потоку по кожному учаснику руху та статистичний звіт по складу транспортного потоку, отримані за допомогою інтелектуального відеоаналізу руху, дають можливість визначати розподіл основних характеристик транспортного потоку (інтенсивність, щільність, швидкість, часовий інтервал) близький до фактичного, що дозволяє більш детально налаштовувати модель поведінки водія в програмі імітаційного моделювання для її відповідності реальним параметрам;

- з удосконаленням процедури калібрування транспортної моделі підвищується якість оцінки прогнозованої ситуації та/або порівняння альтернативних варіантів за допомогою інструментів імітаційного моделювання.

Недоліки методології співпадають із обмеженнями методу інтелектуального відеоаналізу руху та мікроімітаційного моделювання, представленими у розділі 1 (п.1.3).

## 2.2. Проведення повітряної відеозйомки локації

Обстеження дорожнього руху на перехресті вулиць В. Матусевича та проспекту Металургів виконано у робочий день у період пікових навантажень з 16-00 до 18-00 години з метою визначення вхідних показників імітаційної моделі, перед усім, інтенсивності руху, складу транспортних потоків, швидкості руху.

Відеозапис отримано з БПЛА DJI Mavic Air 2 з висоти 100 м над центром проїзної частини. Частота кадрів вихідного відео становила 59,9 кадрів/с, роздільна здатність відеопотоку – 1920 на 1080 пікселів, що відповідає технічним умовам розробника програмного забезпечення DataFromSky [11]. Тривалість відеоролику – 15 хвилин (рис. Д.1).

### 2.3. Інтелектуальний відеоаналіз дорожнього руху на платформі DataFromSky

В утиліті DataFromSky Viewer для створення лічильників, смуг, вузлів, областей руху та інших віртуальних об'єктів варто змінити конфігурацію позначень за допомогою вбудованого редактора (*Manage Annotation Configuration*). Створені позначення фотознімку робочого простору представлено на рис.Д.2. Конфігурація позначень робочого простору складається з 9 смуг та 8 лічильників.

Напрямки руху транспортних потоків, які проходять через відповідний лічильник, показані у таблиці Д.1.

Конфігурація позначень дозволила визначити на попередньому етапі матриці зародження-призначення транспортних потоків на перехресті.

Матриця зародження-призначення показує основні параметри руху від вхідного до вихідного лічильника (кількість транспортних засобів, середній час їздки, мінімальний та максимальний час, стандартне відхилення). За матрицями зародження-призначення можна підрахувати середньо годинні інтенсивності транспортних потоків для конкретного напрямку за формулою:

$$I_{\text{сер.год.}i} = \left( \sum_{j=1}^m U_{ij} \right) \cdot k_r$$

де  $I_{\text{сер.год.}i}$  – середньо годинна інтенсивність транспортного потоку, авто/год.;  $U_{ij}$  – кількість ТЗ, що пройшли від  $i$ -того вхідного лічильника до  $j$ -того вихідного лічильника за час обстеження (тривалість відеоролику руху);  $m$  – кількість вихідних лічильників для обраного напрямку;  $k_r$  – коефіцієнт переходу від інтенсивності за період обстежень до годинної інтенсивності (за тривалості відеоролику у 15 хвилин  $k_r=4$ ).

Матриця зародження-призначення транспортних потоків з урахуванням вищенаведеної формули та фактична годинна інтенсивність транспортного руху показані у таблиці Д.2. Візуалізація частини таблиці Д.2.

у вигляді діаграми інтенсивності транспортних потоків для всіх лічильників та найбільш завантажених напрямків показана на рис. Д.4.

Як видно з табл.Д.2, рух по проспекту Металургів убік 95-го кварталу (до перехрестя) характеризується максимальною годинною інтенсивністю 844 авто/год. Для руху по проспекту Металургів убік Соцміста (до перехрестя) годинна інтенсивність склала 608 авто/год. Рух по вулиці В.Матусевича убік вулиці В.Бизова із годинною інтенсивністю 616 авто/год., у зворотному напрямку – 328 авто/год. Таким чином, існуюча організація руху із головною дорогою по проспекту Металургів є цілком виправданою.

Перевіримо умову влаштування кільцевих транспортних розв'язок (п. 6.1.1 ГБН-555 [1]), яка полягає у тому, що інтенсивність руху на дорогах, що перехрещуються, повинна бути однаковою або відрізнятися не більше ніж на 20 %. В таблиці Д.3 показані результати визначення різниці інтенсивності руху за двома перетинами у цілому та за окремим напрямком.

Тільки напрямки руху по проспекту Металургів убік Соцміста (до перехрестя) та по вулиці В.Матусевича убік вулиці В.Бизова характеризуються різницею інтенсивності у 1,3%, яка знаходиться у межах статистичної похибки. Максимальна різниця отримана для напрямку «рух по вулиці В.Бизова убік вул. В.Матусевича – рух по просп. Металургів убік 95-го кварталу (до перехрестя)» і становить 157%. У цілому інтенсивність руху по другорядній дорозі (вулиці В.Матусевича – В.Бизова) відрізняється від інтенсивності руху по головній дорозі (проспект Металургів) на 34%. Таким чином, при розбудові кільцевої розв'язки умова п. 6.1.1 (різниця у 20% на дорогах, що перехрещуються) не виконується відповідно до результатів обстеження інтенсивності руху на перехресті. Тому будемо враховувати отримані результати при порівнянні альтернатив та прийнятті остаточного рішення.

Другою умовою влаштування кільцевої розв'язки відповідно до п.6.1.1 є те, що «інтенсивність руху на лівоповоротних напрямках становить не менше ніж 40 %».

Для визначення даної різниці скористаємось матрицею зародження-призначення за результатами аналізу DataFromSky (табл.Д.2).

Інтенсивність руху на лівоповоротному потоці (у відсотках від інтенсивності прямого руху) становила (рис. Д.3):

- для вхідних потоків по вулиці В.Матусевича – 48%;
- для вхідних потоків по вулиці В.Бизова – 20%;
- для вхідних потоків по проспекту Металургів (убік Соцміста)– 15%;
- для вхідних потоків по проспекту Металургів (убік 95 кварталу)– 9,5%.

У середньому по перехрестю показник інтенсивності лівоповоротних потоків склав 23%.

Таким чином, умова п.6.1.1 щодо інтенсивності лівоповоротних потоків виконується лише для руху по вулиці В.Матусевича. Лівоповоротні потоки, які на погляд Національної патрульної поліції представляють небезпеку при перетині із потоками прямого руху по проспекту Металургів, становлять лише 15% від останніх. Зважаючи на отримані значення долі інтенсивності лівоповоротних потоків по перехрестю у цілому (23%), можна стверджувати, що при влаштуванні кільцевої розв'язки виконати умову п.6.1.1 не представляється можливим, що доцільно враховувати при розробці фінальних рекомендацій.

Класифікація об'єктів відстеження, що проходять через вхідні лічильники протягом 7 хв., представлена у таблиці Д.4. З цієї таблиці можливо отримати дані про склад транспортного потоку на кожному вході до перехрестя (табл. Д.4), які будуть використані у подальшому при розробці та калібруванні транспортної імітаційної моделі. Таким чином, з табл.Д.4 бачимо, що основна доля ТЗ приходить на легкові автомобілі.

Визначення інтенсивності пішохідного руху на перехресті потребувало додаткового позначення робочого простору (*Annotation Configuration*), коли в одному випадку лічильник вважається вхідним, в іншому – вихідним для урахування руху в обох напрямках (рис. Д.6).

Картограма інтенсивності пішохідних потоків (рис. Д.7) показує, що рух пішоходів через перехрестя є незначним, не перевищуючи 156 осіб за годину.

#### 2.4. Оцінка безпеки дорожнього руху за допомогою DataFromSky

Аналіз безпеки дорожнього руху (*Safety Analysis*) використовується для створення списку конфліктів (*Conflict List*), який можна експортувати для подальшої обробки.

У налаштуваннях «Моделювання» (*Simulation*) можна встановити модель передбачення руху:

- *Вектор швидкості (Speed Vector)* – спрощений розрахунок прямолінійного руху ТЗ, точність розрахунків на криволінійних траєкторіях зменшена;
- *Модель Акермана (Ackerman Steer Model)* – більш точна модель, заснована на врахуванні кута коліс, з цієї причини розрахунок займає більше часу;
- *Урахування прискорень об'єктів руху (Use Traffic Object Acceleration)* – при обранні даної опції, не тільки швидкість руху враховується при розрахунку, а й прискорення об'єктів.

Типами конфліктів виступають замісні показники безпеки руху, а саме, час до зіткнення (*Time To Collision*), час після вторгнення (*Post Encroachment Time*), та екстрене гальмування (*Heavy Braking*).

- *Час до зіткнення (TTC)* визначає, за скільки секунд ТЗ зіткнулися б, якби вони рухались зі сталою швидкістю та напрямком. Встановлюється різниця між мінімальними швидкостями двох ТЗ (*Min. Speed Difference*), і якщо ця різниця менша за вказане порогове значення (*Threshold Value*), розрахунок для цієї пари ТЗ не проводитиметься. Порогова величина встановлює, за скільки секунд визначається різниця швидкостей, яка повинна принаймні дорівнювати мінімальному значенню. Виявлені конфлікти

позначаються як лінії, які показують місце розташування та кут, під яким виникають зіткнення, прямокутники вказують положення ТЗ.

- *Час після вторгнення (PET)* – це різниця між часом, за який ТЗ потрапляє в конфліктну точку, та часом, поки інший ТЗ увійде до цієї точки. Порогове значення параметру встановлюється за максимальним часом. Виявлені конфлікти представляються як лінії, які показують місце та кут, під яким може відбутись зіткнення.

- *Екстрене гальмування (Heavy Braking)* виявляє швидке уповільнення для визначення конфліктів та небезпечних ситуацій. Порогова величина визначає, наскільки необхідно гальмувати для того, щоб це враховувати. Виявлені конфлікти представляються як лінії, які показують шлях, на якому гальмування перевищує порогову величину.

Після проведення аналізу безпеки руху у програмі з'являється список конфліктів. При цьому надається інформація про всі виявлені конфлікти, які упорядковуються від найбільш тяжких до найменш критичних. Усі виявлені конфлікти також представляються у робочому просторі. Якщо натиснути на позначення представленого конфлікту, відеоряд перейде до моменту виникнення конфлікту, а сам він з'явиться у списку. Найбільш суворі конфлікти типу ТТС, коли ТЗ на різних смугах руху наближаються один до одного на небезпечну відстань, приходяться на напрямок руху по вулиці В. Бизова убік перехрестя. Візуалізація даного типу конфлікту представлена на рис.Д.8.

Конфлікти типу РЕТ характерні в основному для лівоповоротних потоків з проспекту Металургів на вулицю В. Матусевича та В. Бизова (рис. Д.9 – рис.Д.10). Величина часу – від 0,28 до 1,97 с.

Екстрене гальмування ТЗ відбувається далеко до підходу на перехресті (рис.Д.11). У той же час, спостерігаються критичні показники екстреного гальмування (до  $-88 \text{ м/с}^2$ ), що негативно впливає на загальну безпеку руху на перехресті.

## 2.5. Розробка базового варіанту мікроімітаційної моделі перехрестя у програмі VISSIM

Модель перехрестя розроблено у програмі мікромодельовання транспортних потоків PTV VISSIM з урахуванням особливостей трьох структурних блоків програми: інфраструктурних об'єктів (кількість смуг, конфігурація перехрестя, ширина смуги); організація дорожнього руху (конфліктні зони, світлосигнальні установки); дорожній рух (вхідні потоки та маршрути транспортних засобів) [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Розмір моделі становив 150 на 150 м. Розподіл вхідних потоків отриманий за даними OD-матриць. Навантаження вхідних потоків руху задавались точно, оскільки існувала можливість їх отримання за результатами інтелектуального аналізу відеореєстру. Для моделювання взаємодії учасників руху на повороті використана статична модель вибору маршруту.

Вхідні транспортні потоки (*Vehicle Inputs*) для моделі уведено відповідно до загальної кількості підрахованих транспортних засобів, які проходять через вхідний лічильник (рис.Є.1). Конфліктні зони та пріоритети проїзду виставлені, враховуючи, що головною дорогою є проспект Металургів (рис.Є.1 – рис.Є.2).

Циклограми світлофорного регулювання (*Signal program*) введені в імітаційну модель показані на рис. Є.3. Тривалість циклу світлофору – 78 с, з яких 38 с – зелений сигнал.

Лічильники заторів встановлені на підходах до перехрестя (рис. Є.4). Маршрути руху ТЗ відповідають 12 напрямкам руху на нормальному перехресті.

Модель готова до симуляції руху, однак потребує калібрування.

## 2.6. Калібрування базової моделі із використанням даних інтелектуального відеоаналізу руху

Створена імітаційна модель підлягала процедурі калібрування у відповідності до результатів відеоаналізу руху в DataFromSky.

Калібрування моделі проводилось за такими показниками:

- швидкість транспортного потоку для кожного входу;
- склад транспортного потоку для кожного входу;
- середня величина уповільнень/прискорень руху.

На початку проведемо калібрування швидкості транспортного потоку за наступною процедурою. Маючи доступ до потужного інструменту автоматизованого відео аналізу руху, доповнимо дану технологію виходячи із можливостей статистики руху в DataFromSky.

Попередня перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу швидкості потоків проведенням аналізу інтервального ряду зі звіту *Traffic Analysis* за методикою, заснованою на встановленні частотних та накопичуваних ваг , дозволила встановити, що розподіл швидкості є нормальним.

Для практичних цілей необхідно визначити саме функцію розподілу, тобто розподіл ймовірностей швидкостей руху – вірогідність того, що випадкова величина (швидкість) прийме значення, менше за випадкове дійсне число.

При сортуванні вибірки швидкостей руху зі звіту *Traffic Analysis* за ознакою «номер вхідного лічильника» можемо отримати вибірку швидкостей для кожного входу у VISSIM (*Vehicle Input*). Крім того, за необхідності можливо отримати окремі вибірки для кожного типу ТЗ (легковий автомобіль, вантажний автомобіль, автобус і т.д.) для конкретного входу. Таким чином, інтенсивність руху на даному вході буде враховувати не тільки загальну кількість ТЗ, а й розподіл ТЗ за типами, а для кожного типу буде окремо задаватись крива розподілу швидкості руху.

На рис. Ж.1 показані отримані функції нормального розподілу швидкості руху для кожного з чотирьох входів моделі. Як бачимо з рис. Ж.1., функцію розподілу вхідних потоків через лічильники 9 (по вулиці В. Бизова) та 10 (по проспекту Металургів убік Соцміста) близькі один до одного. Інша пара розподілів утворена для потоків через лічильники 6 (по вулиці В.Матусевича) та 12 (по проспекту Металургів убік 95-го кварталу). Це може означати, що для тих транспортних потоків, які рухаються через досліджуване перехрестя убік Соцміста, більша кількість випадків для параметру «швидкість руху» знаходиться у діапазоні від 10 до 20 км/год., а для потоків від Соцміста – від 20 до 30 км/год. При чому вхідні лічильники із близьким розподілом швидкості потоку розташовані на дорогах, що перехрещуються.

Налаштувати розподіл швидкості руху стає можливим у VISSIM за допомогою функції розподілу бажаної швидкості (*Desired Speed Distribution*). Детальне описання процедури налаштування бажаної швидкості є у відкритому доступі [1]. Виникає питання, чому функція розподілу доступна саме для бажаної швидкості. Справа утім, що під «бажаною» швидкістю розуміються умови руху, коли відсутні зовнішні обмеження, пов'язані із перериванням потоків у часі і просторі за рахунок організації руху та взаємодії різних учасників руху на дорозі, такі як затримка, дорожні знаки, світлосигнальне регулювання. Таким чином, бажана швидкість є умовним поняттям ідеальної швидкості руху у потоці, яка обмежена лише об'єктивними умовами (будова дорожнього полотна, умови місцевості) та психофізіологічними особливостями водія, у тому числі, агресивністю та стилем під час водіння. Для оцінки транспортної інфраструктури, у тому числі, рівня обслуговування транспортних розв'язок, для позначення даного ефекту використовують поняття «швидкість вільного потоку» (*free flow speed*). Оскільки в реальних дорожніх умовах підтримувати таку швидкість неможливо, фактична швидкість представляє собою скореговану у відповідності до зовнішніх обмежень бажану швидкість руху.

У програмі PTV VISSIM задається лише «бажана швидкість», оскільки «фактична швидкість» вимірюється у якості показника ефективності (*MOE*) після проведення імітаційного моделювання.

Доступ до списку розподілу бажаної швидкості отримується, перейшовши до вкладки «*Базові дані > Розподіли > Бажана швидкість*» (*Base Data > Distributions > Desired Speed*). Потім завантажується вікно «*Бажані розподіли швидкості*» (*Desired Speed Distributions*). У вікні може бути список існуючих бажаних розподілів швидкості, які вже використовуються в програмі за замовчуванням.

Натисканням кнопки «*Додати*» або вибором правою кнопкою миші у вікні потрібних швидкостей розподілу, створюється новий розподіл, де відкривається вікно «*Бажаний розподіл швидкості*», у якому визначаються:

- номер розподілу;
- назву розподілу;
- мінімальну бажану швидкість;
- максимальну бажану швидкість.

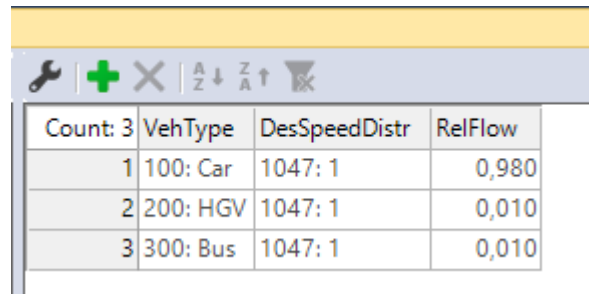
Номер розподілу – унікальний ідентифікаційний номер, присвоєний кожному розподілу ймовірності. Ідентифікувати кожен розподіл ймовірності події стає легко, якщо використовувати число, яке найкраще пояснює даний розподіл. Для полегшення пошуку розподілу швидкості, у даному дослідженні номер розподілу співпадатиме із номером вхідного потоку.

З мінімальною та максимальною бажаною швидкістю, визначеною користувачем, або за відомою функцією розподілу, як у нашому випадку, PTV VISSIM дозволяє представити розподіл у вигляді відповідного графіку. Кожна вісь графіка розподілу представляє собою:

- вісь *x* – вісь бажаних (фактичних) швидкостей;
- вісь *y* – вісь ймовірностей настання події (швидкості).

Побудовані у VISSIM-моделі функції нормального розподілу швидкості транспортних потоків представлені на рис. Ж.2.

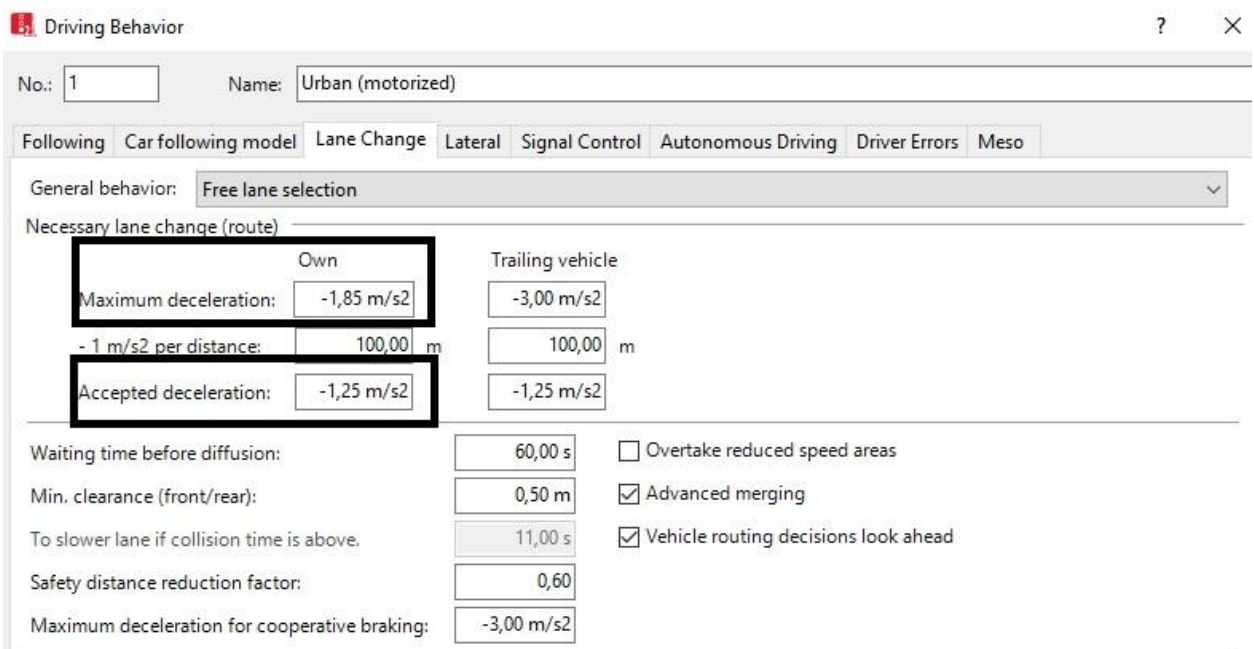
Окрім швидкостей руху калібруванню підлягав склад транспортного потоку через функцію *Vehicle Compositions* відповідно до *Traffic Analysis* з DataFromSky Viewer (див. рис.Д.4). Склад потоку (легковий автомобіль, вантажних автомобіль, автобус) призначався окремо для кожного входу (*Vehicle Input*). Приклад призначення складу потоку для першого входу показано на рис.2.2.



| Count | VehType  | DesSpeedDistr | RelFlow |
|-------|----------|---------------|---------|
| 1     | 100: Car | 1047: 1       | 0,980   |
| 2     | 200: HGV | 1047: 1       | 0,010   |
| 3     | 300: Bus | 1047: 1       | 0,010   |

Рис.2.2. Призначення складу транспортного потоку для 1 входу.

Враховуючи розподіл значень уповільнень, визначених із *Traffic Analysis* у моделі зміни смуги руху VISSIM встановлені відповідні порогові ( $-1,85 \text{ м/с}^2$ ) та прийняті ( $-1,25 \text{ м/с}^2$ ) значення уповільнень (рис.2.3).



Driving Behavior

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Car following model Lane Change Lateral Signal Control Autonomous Driving Driver Errors Meso

General behavior: Free lane selection

Necessary lane change (route)

|                                    | Own                    | Trailing vehicle       |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Maximum deceleration:              | -1,85 m/s <sup>2</sup> | -3,00 m/s <sup>2</sup> |
| - 1 m/s <sup>2</sup> per distance: | 100,00 m               | 100,00 m               |
| Accepted deceleration:             | -1,25 m/s <sup>2</sup> | -1,25 m/s <sup>2</sup> |

Waiting time before diffusion: 60,00 s ☐ Overtake reduced speed areas

Min. clearance (front/rear): 0,50 m ☒ Advanced merging

To slower lane if collision time is above: 11,00 s ☒ Vehicle routing decisions look ahead

Safety distance reduction factor: 0,60

Maximum deceleration for cooperative braking: -3,00 m/s<sup>2</sup>

Рис.2.3. Калібрування моделі зміни смуги руху.

## 2.7. Висновки до розділу 2

У розділі 2 представлена нова методика дослідження транспортних розв'язок, яка поєднує обробку вихідних відеоданих інтенсивності руху за допомогою технології штучного інтелекту на платформі DataFromSky із використанням результатів аналізу у якості калібрувальних параметрів імітаційної мікромоделі розв'язки у середовищі VISSIM. При цьому інтенсивність руху на початку відрізків моделі задавалась точно, виходячи із матриць зародження-призначення, отриманих з DataFromSky Viewer, а сама модель була вперше відкалібрована за трьома параметрами:

- за розподілом бажаної швидкості для кожного вхідного потоку (*Vehicle Input*), визначеного на основі статистичного звіту з динаміки руху об'єктів (*Trajectories Movement Dynamics*) з DataFromSky Viewer;
- за складом транспортного потоку, виходячи із класифікації об'єктів відстеження (*tracked objects*), що проходять через вхідні лічильники (*Gates*) конкретної конфігурації позначень DataFromSky Viewer;

За результатами відеоаналізу інтенсивності транспортних потоків в DataFromSky Viewer встановлено, що у середньому інтенсивність руху по другорядній дорозі (вулиці В.Матусевича – В.Бизова) відрізняється від інтенсивності руху по головній дорозі (проспект Металургів) на 34%, що не відповідає умові п. 6.1.1 (різниця не більше 20% для доріг, що перехрещуються), виконання якої бажане для прийняття рішення по розбудові кільцевої розв'язки.

Умова п.6.1.1 у частині забезпечення значення інтенсивності руху на лівоповоротних напрямках не менше 40% від прямого напрямку, також не виконується, оскільки у середньому по перехрестю цей показник склав 23%. Небезпечні лівоповоротні потоки по проспекту Металургів убік Соцміста становлять лише 15% від потоків прямого руху.

Для обґрунтування можливості влаштування кільцевого перетину на досліджуваній локації необхідні триваліші обстеження інтенсивності руху.

## РОЗДІЛ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ РІШЕНЬ

### 3.1. Проектування кільцевого перетину за допомогою VISSIM

Кільцевий перетин проєктовано відповідно до ДБН В.2.3-4:2015 [1] та ГБН В.2.3-37641918-555:2016 [2]. За класифікацією, представленою у ГБН В.2.3, розв'язка є малою, із діаметром центрального острівця у 10 м. Вибір саме такого розміру перетину обумовлений:

- обмеженістю смуг руху, що примикають;
- намаганням вписати нову розв'язку у площину існуючої проїзної частини, не порушивши тротуари;
- умовою влаштування кільцевої розв'язки з п.6.1.7 ГБН В.2.3, яка встановлює добову інтенсивність на рівні понад 5000 авто/добу для населених пунктів;
- рекомендацію ГБН В.2.3 надавати перевагу малим кільцевим розв'язкам.

На розв'язці влаштовані перехідно-швидкісні смуги для відокремленого правого повороту для забезпечення її більшої пропускної здатності. Правий поворот дозволяє водіям виконати маневр без надання переваги у русі транспортним засобам на кільці (п.2.6.5 [3]). Поворот відокремлений острівцем безпеки. Ширина правоповоротної смуги дорівнює ширині смуг руху на підході до перетину (п.6.2.6 [4]) й складає 3 м. Пікетування усіх примикань та з'єднань виконано відповідно до ГБН В.2.3.

Розв'язка має дві смуги руху на кільці. На підході до перетину біля центрального острівця слід розмістити знак 4.10 «Круговий рух» відповідно до п.10.3.3 [5].

Центральний острівець спроектовано із зміщенням, коли вісь дороги по проспекту Металургів перенесено відносно центру кільця, коли пряма лінія, що сполучає крайню праву смугу для руху прямо на підході та на виході з

розв'язки знаходиться на краю центрального острівця (п.6.2.3 ). Це дозволить водіям повільніше входити на кільце й швидко з нього виїждати.

Загальний вид імітаційної моделі кільцевого перетину, виконаний у програмному середовищі VISSIM, представлений на рис.3.1. Слід зазначити, що відрізок, що відтворює круговий рух, побудовано за допомогою додавання окремого об'єкта «Круговий відрізок» (*Circular link*).

Модель кільцевої розв'язки розбудована таким чином, що безперервні відрізки (*links*) відповідають траєкторії головного руху від підходу до перетину до виходу з нього. Відрізки, що визначають другорядні смуги, закінчуються безпосередньо перед кільцем, при цьому з'єднання (*connectors*) використані для встановлення зв'язку між вхідними смугами та відповідними смугами на кільці. Усі з'єднання виконано якомога коротшими для уникання надмірного перекриття вхідних та вихідних по відношенню до перехрестя смуг. Застосування довгих з'єднань призводить до збільшення конфліктних зон, що, у кінцевому випадку, негативно позначається на пріоритетності проїзду у різних напрямках.

Особлива увага на двосмуговій кільцевій розв'язці приділена ділянкам із розміткою тротуару, де круговий рух направляється з внутрішньої смуги на зовнішню смугу через розмітку перед виходом. У цих випадках з'єднання смуг у VISSIM налаштовані на відповідність дорожній розмітці.

Налаштування швидкості наближення до перетину, входу та проїзду кільця у VISSIM є одним із ключових питань для розробки імітаційної моделі у частині відтворення із достатньою точністю реальних умов дорожнього руху. Швидкість наближення, входу на перехрестя та кругового руху, перед усім, визначається конфігурацією розв'язки, включаючи кривизну та ширину проїзної частини доріг у плані.

Окрім налаштування бажаного розподілу швидкості руху на вході моделі, детально описаного в п.2.6 даної роботи, для налаштування зазначених вище швидкостей руху ТЗ використані зони зниженої швидкості (*Reduced Speed Areas*), які показані на рис.3.1 жовтим кольором. Таким чином, ТЗ, що

наближається до кільцевого перехрестя, спочатку стикається із необхідністю прийняття рішення про бажану швидкість (*Desired Speed Decision*), яке регулює швидкість ТЗ до проектного значення (використовується для уповільнення ТЗ перед тим, як дістатися до кільцевої розв'язки). Потім область зниженої швидкості на в'їзді фактично зменшує швидкість ТЗ далі до вхідної проектної швидкості на кільцевій розв'язці (наприклад, швидкість "R1"). Оскільки зони зі зниженою швидкістю є функціями, що передбачають перспективний рух у VISSIM, ТЗ будуть сповільнюватися до швидкості R1 поки не досягнуть області зниженої швидкості. Таким чином, довжина області зниженої швидкості зменшується до вершини кривої. Одразу після неї розташована область прийняття рішення про швидкість руху, що визначає швидкість ТЗ на кільці (наприклад, швидкість "R2"). ТЗ дотримуються даної швидкості до тих пір, поки не виїжджають з кільцевої розв'язки, або не приймають інше рішення про бажану швидкість. Звернемо увагу, що всередині кругового руху зони зі зниженою швидкістю не використовуються.

Для досліджуваного випадку кільцевого перетину із виділеною смугою руху для повороту праворуч, швидкості руху на даній ділянці при виконанні маневру можуть дещо відрізнятися від швидкості в'їзду та виїзду з кругового руху (залежно від радіуса об'їзної поворотної смуги), й отже, для цих рухів використані різні рішення щодо розподілу бажаної швидкості та області зі зниженою швидкістю.

Поведінка водія, пов'язана із необхідністю поступити дорогу у VISSIM моделюється через «конфліктні зони» (*Conflict areas*), та через «правила пріоритету проїзду» (*Priority Rules*). Як правило, на кільцевих розв'язках увага надається переважно конфліктним зонам, які дозволяють враховувати, наприклад, довжину ТЗ, та поведінку прискорення / уповільнення. Ілюстрація конфліктів за типом «злиття» та «розгалуження» показані на рис.3.2. Зона злиття конфліктів використовується для контролю ТЗ при в'їзді на кільце, а зона розгалуження конфліктів – для управління конфліктами на виході із кільця .

Для двосмугової кільцевої розв'язки, на додаток до конфліктів типу злиття та розгалуження, зображених на рис.3.2, моделювання потребують конфлікти типу «перетин» (*crossing*), які застосовуються до в'їзних смуг, що перетинають безліч смуг кругового руху та вихідних смуг.

З метою коректного моделювання двосмугової кільцевої розв'язки зміни смуги руху в межах кругового руху, окрім викликаних розміткою на колі, не передбачено. Всі з'єднання на кільці виконані із задаванням функції «без зміни смуги руху» (*no lane change*) для запобігання змінам напрямків руху у межах кільця.

Крім того, змінено стандартну відстань аварійної зупинки від поворотних з'єднань, щоб уникнути застрягнення ТЗ на кільці. Під час симуляції руху ми додатково переконались, що водії переїжджають на відповідну смугу руху перед кільцем.

### 3.2.Калібрування імітаційної моделі кільцевої розв'язки

Усі припущення, пов'язані з поведінкою водія у VISSIM та параметрами прийнятих відстаней між ТЗ у потоці, можуть у значній мірі впливати на результати імітаційного моделювання.

Модель поведінки водія у VISSIM складається з моделі слідування за лідером (Wiedemann 74), моделі зміни смуги руху, бічного позиціонування. Як і для звичайних перехресть, модель слідування за лідером є критичною для калібрування кільцевих розв'язок. Якщо уявити кільцевий перетин без конфліктуючих потоків, то він напряду б визначався алгоритмом поведінкової моделі водія, закладеним в ту чи іншу програму імітаційного моделювання. Модель поведінки водія визначає співвідношення між пропускнуою здатністю кільцевої розв'язки із польовими даними інтенсивності руху.

Виходячи з алгоритму поведінкової моделі, зміни в її параметрах впливають на подальший рух, а отже, на пропускну здатність кругового руху. Зокрема, збільшення параметрів безпечної відстані (*safety distance*) призведе

до збільшення відстані між ТЗ у потоці (більше простору/часу) і, отже, до зменшення пропускної здатності кільцевої розв'язки (менше ТЗ за годину на смугу руху).

Слід зазначити, що для калібрування моделі кільцевої розв'язки проспекту Металургів та вулиці В.Матусевича досягнуто порівнянням вимірювань за результатами моделювання в VISSIM, із розрахунковими величинами параметрів, визначених за відомою методикою, представленою у літературі [1], оскільки для нового рішення дані польових обстежень не можуть бути отримані.

Такими калібрувальними параметрами виступали:

- пропускна здатність кільцевої розв'язки;
- візуальне калібрування.

Пропускна здатність кільцевої розв'язки визначається як максимальне значення інтенсивності потоку, яка може бути задана на в'їзді до кільцевого перетину. Така «пропускна спроможність» кільцевої розв'язки залежить від двох факторів: кругового руху на кільці, що конфліктує з вхідним потоком, та конфігурації безпосередньо кільцевого перетину.

Для того, щоб отримати значення реальної пропускної здатності на об'єкті дорожнього будівництва, транспортний попит повинен перевищувати пропозицію. Спочатку у VISSIM створено потенційний сценарій шляхом штучного збільшення транспортного навантаження для забезпечення перенасичення ТЗ моделі. Потім, варіюючи значеннями інтенсивності кругового руху, оцінено максимальний вхідний потік, що генерується VISSIM, а результати порівняні із розрахунковими значеннями. У результаті калібрування моделі встановлено, що модельована інтенсивність кругового руху відрізняється від розрахункової величини на 8,9%. За відсутності національних рекомендацій щодо допустимої похибки калібрування імітаційних моделей транспортних розв'язок, вважатимемо отриману похибку прийнятною.

Візуальне калібрування включало налаштування таких елементів у VISSIM:

- поведінка ТЗ щодо пропускну конфліктних потоків;
- швидкості наближення до перетину, входу, виходу та кругового руху.

Дані параметри оцінено за методологією, представленою у попередньому підрозділі 3.1 даної роботи.

### 3.3. Оцінка показників ефективності альтернативних рішень

Вибір показників ефективності для оперативної оцінки запропонованих рішень необхідно пов'язати із загальними цілями даної роботи. Відбір виконано таким чином, щоб висновки можуть дати повну картину аналізу та підтримати процес прийняття рішень. Заходи, що пропонуються, повинні бути чутливими до операційних умов як для поточного стану, так і для розробленої альтернативи, та бути значущими для зацікавлених сторін. Крім того, важливо пам'ятати про обмеження вихідних даних, які може генерувати VISSIM, разом із наявними обмеженнями даних.

Заходи були згруповані за двома ключовими ознаками: мобільність та мінливість. Якщо основною метою побудови кільцевого розв'язки було б зменшення транспортної затримки, тоді обрані заходи могли б включати затримку, час у дорозі та середню/максимальну чергу. Якщо метою є вирішення питання потоків насичення, тоді заходи повинні мати можливість врахувати вплив запропонованого кільцевого роз'їзду на перенасиченість, таку як пропускну здатність, попит, що не обслуговується, довжина затору. Оскільки основною метою є підвищення безпеки руху та пов'язаного з неї зменшення кількості потенційних конфліктів, додатково до вихідних показників VISSIM-моделі будуть використані комплексний показник рівня обслуговування та порівняльний аналіз замісних показників безпеки руху для базового та альтернативного рішення.

Показники ефективності представлені у табл.3.1.

Табл.3.1

**Типові показники ефективності з моделі VISSIM для аналізу умов руху на розв'язці**

| <b>Ознака показника ефективності</b> | <b>Показник ефективності</b>                                                                                                              |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мобільність                          | Затримка<br>Рівень обслуговування (LOS)<br>Середня довжина черги<br>Максимальна довжина черги<br>Час у дорозі<br>Середня швидкість потоку |
| Мінливість                           | Відхилення часу у дорозі<br>Екстремальні значення часу у дорозі                                                                           |

Порівнюючи варіант існуючого нормального перехрестя проспекту Металургів та вулиці В.Матусевича та альтернативний варіант у вигляді звичайного кільцевого перетину із зміщенням центрального острівця, основну увагу приділимо вихідним показникам ефективності по мережі у цілому (*Network Performance*). Скріншот віконця програми із результатами проведених комп'ютерних експериментів показаний на рис.І.1 – рис.І.2. За результатами моделювання за представленою методологією встановлено, що у цілому по всім усередненим значенням оціночних показників підвищення суттєвої ефективності руху у разі влаштування кільцевої розв'язки на досліджуваній локації не відбудеться. Навіть навпаки, основна частина показників ефективності погіршиться. Так, середня затримка на перехресті збільшиться від 59 до 117 с (стандартне відхилення затримки при базовому варіанті становитиме 3 с, у той час, для альтернативного рішення – 48 с), а затримка, пов'язана із організацією руху – від 32 до 85 с.

Враховуючи, нормативні значення для визначення рівня обслуговування на перехресті (Табл.І.1 – Табл.І.3) за величиною затримки від організації руху для базового варіанту перехрестя присвоєно рівень обслуговування **С**, а для кільцевої розв'язки – **Е**.

Рівень **С** означає, що на розв'язці стабільний потік, але можливість виконання маневрів і зміни смуги руху ускладнені. Зростають черги при

наближенні до перехрестя. Середня швидкість становить 50% швидкості в вільних умовах *FFS* даного класу вулиць.

Рівень *F* означає, що середня швидкість становить 25 – 33% швидкості в вільних умовах *FFS* даного класу вулиць.

Швидкість по перехрестю у випадку облаштування кільцевої розв'язки дещо зменшиться з 5,7 км/год до 4,2 км/год.

Негативний вплив рішення щодо розбудови кільцевої розв'язки матиме також на показник довжини черги ТЗ (рис.И.3 – рис.И.4). Так, середнє значення довжини черги ТЗ на підході до звичайного перехрестя становитиме

- по вулиці В.Матусевича – 63 м;
- по вулиці В.Бизова – 8,2 м;
- по проспекту Металургів (убік Соцміста) – 35,3 м;
- по проспекту Металургів (убік 95 кварталу) – 44,7 м.

Розподіл середньої довжини черги ТЗ для кільцевої розв'язки виглядає таким чином:

- по вулиці В.Матусевича – 58,9 м;
- по вулиці В.Бизова – 8,2 м;
- по проспекту Металургів (убік Соцміста) – 38,2 м;
- по проспекту Металургів (убік 95 кварталу) – 29,3 м.

Бачимо, що черга ТЗ на перехресті практично не зміниться за величиною. Тільки для напрямку руху по проспекту Металургів убік 95 кварталу матимемо зменшення довжини черги від 44 до 29 м.

Максимальна довжина черги на перехресті (базовий варіант) варіює від 53 до 100 м, а для альтернативного рішення – від 46 до 78 м.

Середній час у дорозі при русі по проспекту Металургів за базового варіанту складатиме 77 с, по вулиці В.Матусевича – 66 с. При облаштуванні кільцевої розв'язки середній час у дорозі по проспекту Металургів – 99 с, по вулиці В.Матусевича – 74 с. Тобто, збільшуватиметься час, що витрачається водіями для проїзду перехрестя.

### 3.4. Порівняльний аналіз прогнозного рівня безпеки руху на перетині (модель SSAM)

Раніше вихідні показники ефективності, отримані на основі мікромодельовання транспортних потоків, не могли служити прямим керівництвом для оцінки безпеки руху. З появою спеціалізованого програмного забезпечення, моделі оцінки безпеки руху на основі замісних показників (Surrogate Safety Assessment Model, коротко SSAM), дане питання перейшло у площину аналізу записів траєкторій ТЗ з мікроімітаційних моделей [1]. Автори SSAM виходили з того, що траєкторії руху ТЗ визначаються конфігурацією відповідного перетину, тому знаючи інформацію про траєкторії ТЗ, можна оцінити, наскільки велика вірогідність конфлікту на даному перехресті.

При цьому поняття «конфлікт» визначає ситуацію, що спостерігається, за якої у часі і просторі наближаються один до одного два або більше учасників дорожнього руху у такій мірі, що існує ризик їх зіткнення, якщо траєкторія руху ТЗ залишиться незмінною.

Дані результатів імітаційного моделювання (файл траєкторії “.trj”) обробляються програмою SSAM для визначення взаємодії ТЗ, яка задовольняє певним класифікаційним ознакам. Під час аналізу виявляється кожен конфлікт, включаючи дані з файлів траєкторії всіх відповідних реплікацій моделювання, що відображається у таблиці конфліктів. У ній представлена детальна інформація по кожному конфлікту, враховуючи час, розташування та замісні показники безпеки. Також для кожної реплікації доступний зведений звіт, який включає відомості по кількості конфліктів різних типів, середні та узагальнені значення вихідних показників.

Звіт по замісним показникам безпеки руху для існуючого варіанту перехрестя та для запропонованій кільцевій розв'язці представлений на рис.І.1– рис.І.2.

Для існуючого варіанту перетину відповідно до SSAM можливо 254 конфлікту, з яких 8 пов'язані із перетином траєкторій, 190 – наїздом ззаду, 56 – перебудовою (зміною смуги руху).

Для кільцевої розв'язки загальна кількість потенційних конфліктів дещо менше – 236 конфлікту, з яких 11 перетинів, 173 наїздів ззаду, 52 конфлікту, пов'язаних зі зміною смуги руху.

З теплової карти конфліктів, отриманої за допомогою SSAM, стає зрозумілим, що наїзд ззаду може спостерігатись по всіх напрямках перехрестя, виникнення перетину характерне для центральної частини перехрестя, а конфлікти при зміні смуги руху відбуваються в основному на ділянці «проспект Металургів убік Соцміста», що підтверджує дані Національної поліції, яка відносить перехрестя до місць концентрації ДТП.

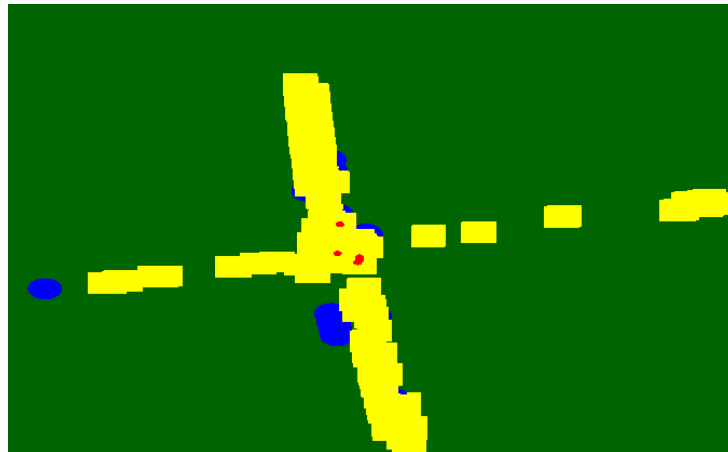


Рис.3.1. Теплова карта конфліктів: жовтим кольором позначені конфлікти типу «наїзд ззаду», синім – зміна смуги руху, червоним – перетин.

Порівняємо отримані за допомогою SSAM кількісні показники конфліктів із результатами розрахунку відповідно до відомої прогнозної моделі оцінки безпеки руху на кільцевих розв'язках.

Прогнозна модель конфліктів на кільцевій розв'язці для випадку вхідних та кругових потоків представлена формулою [1]:

$$A = 0,052 \cdot Q_e^{0,7} \cdot Q_c^{0,4} \cdot \exp(-40 \cdot C_e + 0,14 \cdot e - 0,07 \cdot e \cdot v - \frac{1}{1 + \exp(4 \cdot R - 7)} + 0,2 \cdot P_m - 0,01 \cdot \theta) \quad (3.1)$$

де  $A$  – кількість потенційних конфліктів за годину спостережень при наближенні до кільцевої розв'язки;  $Q_e$  – вхідний потік (авто/год.);  $Q_c$  – круговий потік (авто/год.);  $C_e$  – кривизна вхідної кривої ( $1/R_e$ );  $R_e$  – радіус вхідного шляху для найкоротшої траєкторії (м);  $e$  – ширина вхідного потоку (м);  $v$  – ширина підходу (м);  $R$  – відношення діаметру кільця до діаметру острівця;  $P_m$  – доля мотоциклів (%);  $\theta$  – кут між центральними лініями двох доріг, що перехрещуються на кільці (град.).

Для випадку наближення до кільцевої розв'язки:

$$A = 0,057 \cdot Q_e^{1,7} \cdot \exp(-40 \cdot C_e - 0,1 \cdot \theta) \quad (3.2)$$

Значення параметрів у формулі (3.1) для альтернативного варіанту перетину із джерелами їх отримання, представлено у табл. 2.4.

Табл.3.1

#### Числові значення параметрів моделі

| Параметр          | Значення | Джерело отримання числових значень                                                                               |
|-------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_e$ , авто/год. | 1611     | Статистика по лічильникам з DataFromSky Viewer. Визначалось як сума підрахованих об'єктів по вхідним лічильникам |
| $Q_c$ , авто/год. | 1324     | Статистика з VISSIM                                                                                              |
| $C_e$             | 0,10     | Формула 3.1                                                                                                      |
| $R_e$ , м         | 10,0     | Замір відповідних позицій на робочому просторі у VISSIM                                                          |
| $e$ , м           | 9,3      | Замір відповідних позицій на робочому просторі у VISSIM                                                          |
| $v$ , м           | 12,0     | Замір відповідних позицій на робочому просторі у VISSIM                                                          |
| $R$               | 2,46     | Замір відповідних позицій на робочому просторі у VISSIM                                                          |
| $P_m$ , %         | 0,97     | Статистика протоколу трасування                                                                                  |
| $\theta$ , град.  | 90       | Дані з VISSIM                                                                                                    |

Після проведення розрахунків за формулами (3.1) – (3.2) встановлено, що кількість потенційних конфліктів, які виникають при взаємодії вхідних транспортних потоків та потоків на кільці за годину становить 11 випадків, при наближенні до перехрестя – 14.

### 3.5. Висновки до розділу 3

У розділі 3 представлено варіант влаштування двосмугової кільцевої розв'язки із зміщенням центрального острівця на перехресті проспекту Металургів та вулиці В.Матусевича у місті Кривий Ріг для перевірки ефективності даного рішення стосовно забезпечення якості організації руху та підвищення безпеки руху.

Розроблено імітаційну модель кільцевої розв'язки з урахуванням рекомендацій державних будівельних норм щодо реконструкції та нового будівництва автомобільних доріг та галузевих норм проектування транспортних розв'язок. Розглянуті також особливості розбудови кільцевого перетину у програмному середовищі VISSIM від PTV.

Калібрування імітаційної моделі нової розв'язки виконано за параметром пропускну здатності перехрестя та за допомогою візуального контролю.

Встановлено, що влаштування кільцевого перетину не дозволить ані покращити показники ефективності руху, ані підвищити рівень безпеки дорожнього руху.

За величиною транспортної затримки оцінено рівень обслуговування існуючого варіанту перетину та запропонованого. У разі розбудови кільцевої розв'язки рівень обслуговування транспортного вузла погіршиться з С до F. Довжина черги ТЗ, що утворюється, залишиться на рівні 30 до 60 м у пікові години доби. Час проїзду перехрестя збільшиться на 12–22 с. Кількість потенційних конфліктів зменшиться з 254 до 236, однак кількість конфліктів-перетинів збільшиться від 8 до 11.

Рішенням могло б виступати збільшення ширини колової проїзної частини, однак його виконання потребує задіяння додаткової площі.

## ВИСНОВКИ

У роботі представлено обґрунтування необхідності влаштування кільцевої розв'язки на регульованому світлофором перехресті проспекту Металургів та вулиці В.Матусевича, яке вважається Національною поліцією місцем концентрації ДТП у місті Кривий Ріг, для покращення стану організації та безпеки руху.

1. Визначено комплекс недоліків у роботі перехрестя за даними Національної поліції, основним з яких, що обумовлює актуальність подальшого дослідження, є зниження безпеки руху у зв'язку із обмеженістю у маневрах транспортних засобів ліворуч по проспекту Металургів у напрямку житлового району Соцміста.

2. Для отримання експлуатаційних характеристик по базовому варіанту та альтернативі у вигляді кільцевого перетину запропоновано метод імітаційного моделювання із можливістю калібрування імітаційної моделі на основі статистики дорожнього руху по кожному учаснику руху, отриманої, у свою чергу, за допомогою технології інтелектуального відеоаналізу руху.

3. Порівняння експлуатаційних характеристик існуючого перехрестя із світлосигнальними установками та саморегульованої кільцевої розв'язки дозволило встановити, що при влаштуванні кільцевого перетину в межах базового перехрестя вулиць при зменшенні конфліктних точок з 32 до 8 водночас втрачається певна площа проїзної частини (на центральний острівець та острівці безпеки для відокремлених правоповоротних потоків), що призведе до збільшення величини середньої транспортної затримки на 58 с, середньої довжини черги по проспекту Металургів (убік Соцміста) та по вулиці В.Матусевича на 3,1 м, середнього часу у дорозі на 12–22 с.

4. Порівняння прогнозованого рівня безпеки за замісними показниками безпеки та кількістю конфліктів (технологія SSAM) дозволяє стверджувати, що у цілому безпека руху у разі влаштування кільцевого перетину зміниться не суттєво.

5. Варіантом підвищення безпеки руху на кільцевій розв'язці могла б послужити її розбудова із збільшенням ширини колової частини до 10,4 м враховуючи діаметр центрального острівця у 10 м, однак дане питання потребує задіяння під проїзну частину значної частини тротуарів, призначених для пішохідного руху, що не відповідає сучасному підходу до містопланувальних рішень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронний ресурс: <https://www.dli.donetsk.ua/news/2021-03-18-2>
2. Електронний ресурс: <https://wsdot.wa.gov/Safety/roundabouts/benefits.htm>
3. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.
4. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів, затверджені наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 24.04.2018 № 103.
5. ДБН 360–92\*\* Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень, затверджені наказом Держкоммістобудування від 17.04.1992 № 44.
6. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. К.: Мінрегіон України, 2018. – 61с.
7. ДСТУ 8752:2017. Безпека дорожнього руху. Проект організації дорожнього руху. Правила розроблення, побудови, оформлення. Вимоги до змісту.
8. ДСТУ 8824:2019 Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 36с.
9. ГБН В.2.3-37641918-555:2016 Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування, затверджені наказом Міністерства інфраструктури України від 21.03.2016 № 114.
10. Електронний ресурс: <https://goodvisionlive.com/>
11. Електронний ресурс: <https://datafromsky.com/applications/traffic-counting/>
12. Електронний ресурс: <https://pro-mobility.org/2020/04/29/sposoby-pidvyshchennia-tochnosti-zboru-vykhidnykh-danykh-shliakhom-avtomatyzatsii-pidrakhunku-intensyvnosti-rukhu-transportu-ta-pishokhodiv/>
13. Електронний ресурс: <https://nachasi.com/2017/07/04/drone-rules/>

14. Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1062-18>
15. Методические рекомендации по использованию программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере организации дорожного движения, 2017.
16. Осетрін М.М. Коефіцієнти добового приведення інтенсивності руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста (на прикладі м. Києва) / М.М. Осетрін, Д.О. Беспалов, М.І. Дорош, В.Б. Петрук, І.В. Королевська // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2017. – Вип. 65. – С. 418-425.
17. Постанова Кабінету Міністрів України від 16.09.2015 N 712 «Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення».
18. Сватко В.В. Методика визначення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля з використанням моделі ефективного транспортного засобу / В.В. Сватко // Modern directions of theoretical and applied researches / Транспорт і логістичні системи. – К., НТУ, 2013. (джерело електронного доступу: <https://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/march-2013>).
19. Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software.
20. Danescu, R., Oniga, F., Nedevschi, S. and Meinecke, M., 2009. Tracking multiple objects using particle filters and digital elevation maps. In: 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 88–93.
21. Gleason, J., Nefian, A., Bouysseounousse, X., Fong, T. and Bebis, G., 2011. Vehicle detection from aerial imagery. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2065–2070.
22. Kozempel, K. and Reulke, R., 2009. Fast vehicle detection and tracking in aerial image bursts. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 38(3), pp. 175 – 180.

23. Lee, J.-N. and Kwak, K.-C., 2014. A trends analysis of image processing in unmanned aerial vehicle. *International Journal of Computer, Information Science and Engineering*, 8(2), pp. 2 – 5.
24. Lin, R., Cao, X., Xu, X., Wu, C. and Qiao, H., 2009. Airborne moving vehicle detection for video surveillance of urban traffic. In: *2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 203–208.
25. Moranduzzo, T. and Melgani, F., 2014. Automatic car counting method for unmanned aerial vehicle images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(3), pp. 1635–1647.
26. Nguyen, T. T., Grabner, H., Gruber, B. and Bischof, H., 2007. On-line boosting for car detection from aerial images. In: *IEEE International Conference on Reasearch, Innovation and Vision for the Future*, pp. 87–95.
27. Park B., Schneeberger J.D. (2003). Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Case Study of VISSIM Simulation Model for a Coordinated Actuated Signal System
28. Park B.,Qi H. (2005). Development and Evaluation of a Procedure for the Calibration of Simulation Models
29. Park B., Won J., Yin I. (2006). Application of Microscopic Simulation Mode Calibration and Validation Procedure: A Case Study of Coordinated Actuated Signal System.
30. Lownes E., Machemehl R. (2006). VISSIM: A Multi-parameter Sensitivity Analysis.
31. Woody T. (2006 ) Calibrating Freeway Simulation Model in VISSIM
32. Menneni S., Sun C., Vortisch P. (2008).Microsimulation Calibration Using Speed Flow Relationships, *Transportation Research Record*, 2008.
33. Zenkov D., Yurshevich E. (2008).Development of VISSIM model calibration software.
34. Miller D.,M. (2009). Developing a Procedure for Identifying Parameters for Calibration of a VISSIM Model

35. Manjunatha P., Vortisch P., Mathew T. (2012). Methodology for the Calibration of VISSIM in Mixed Traffic. Transportation Research Board, 2013.
36. Ge Q., Menendez. An Efficient Sensitivity Analysis Approach for Computationally Expensive Microscopic Traffic Simulation Models. International Journal of Transportation Vol. 2, No. 2, (2014).
37. Duong D. (2011) Calibration and validation of VISSIM microscopic traffic simulation model parameters using Pareto Archived Dynamically Dimensioned Search.
38. Abdalhaq B., Baker M. (2014) Using Meta-Heuristic algorithms to improve traffic simulations. Journal of Algorithms and Optimization.
39. B.R. Hellinga Requirement for the Calibration of Traffic Simulation Models Department of Civil Engineering, University of Waterloo (2015). <http://www.civil.uwaterloo.ca/bhellinga/publications/Publications/CSCE-1998-Calibration.PDF>. Accessed Jul. 8, 2015.
40. Higgs et al., 2011. B. Higgs, M. Abbas, A. Medina. Analysis of the Wiedemann car following model over different speeds using naturalistic data. Road Safety and Simulation, Indianapolis, Indiana (2011).
41. Highway Capacity Manual, 2010. Highway Capacity Manual Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC (2010), p.
42. Traffic Analysis Toolbox Volume II: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software.

### Додаток А. Конфігурація перетину

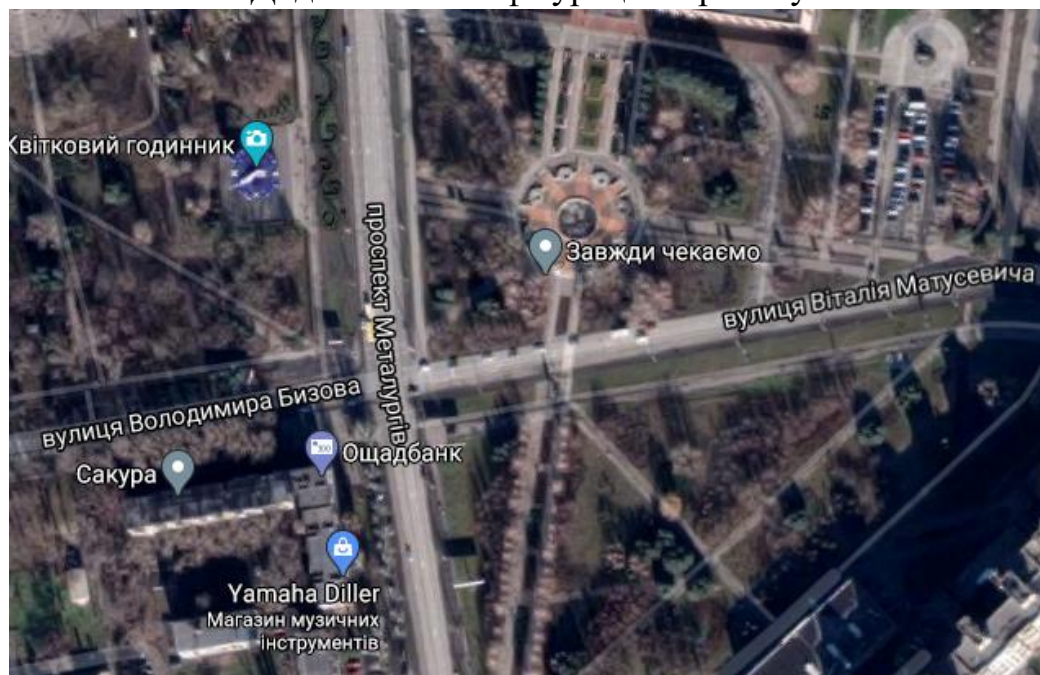


Рис.А.1. Супутникове зображення перехрестя вулиць В.Матусевича та проспекту Металургів у місті Кривий Ріг.



Рис.А.2. Позначення лівоповоротного потоку по проспекту Металургів та розбіжності у суцільній розмітці за напрямком «вулиця В.Матусевича – вулиця В.Бизова».

### Додаток Б. Конфігурація кільцевої розв'язки



Рис. Б.1. Основні елементи кільцевої розв'язки: 1 – центральний острівець; 2 – апро́н; 3 – кільцева проїзна частина; 4 – вхід на кільце із розміткою «дати дорогу»; 5 – піднятий розділювальний острівець.

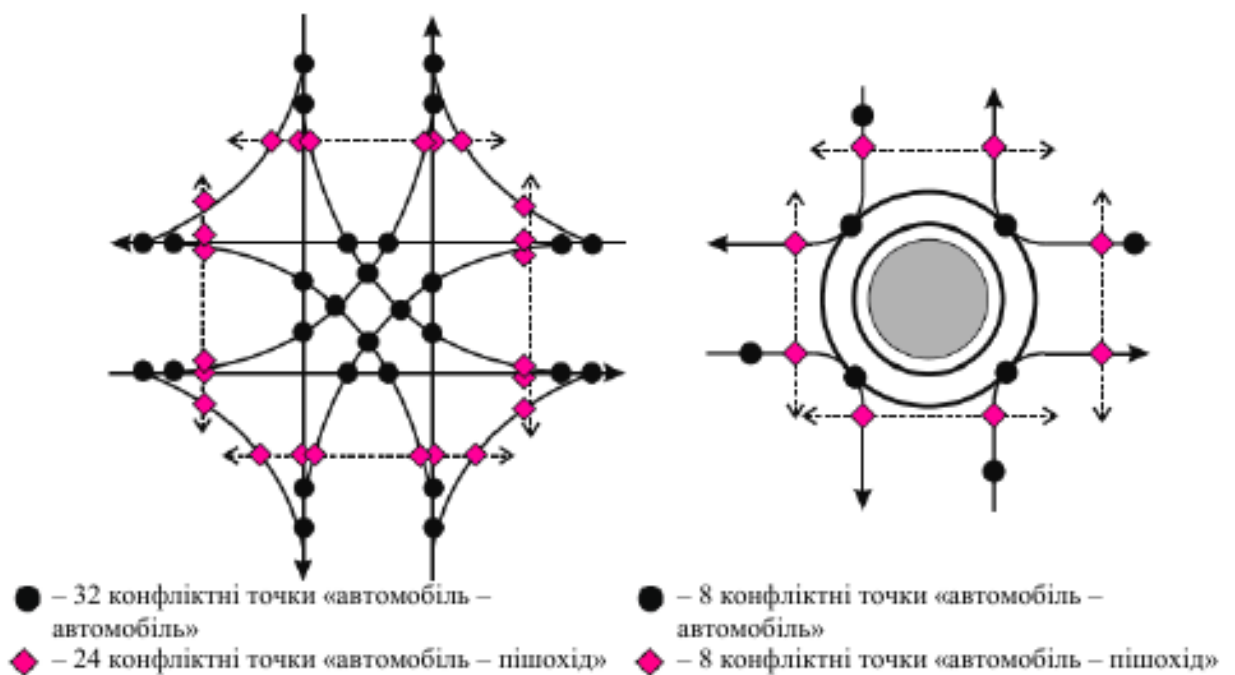


Рис.Б.2. Кількість конфліктних точок на звичайному та кільцевому перетинах

Додаток В. Зони забезпечення видимості на перетинах

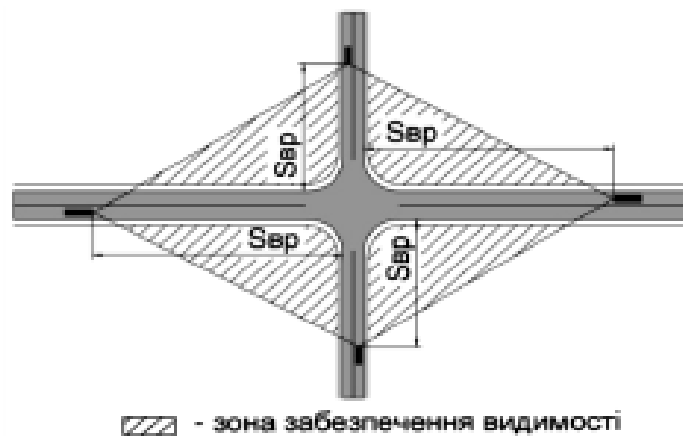


Рис.В.1. Схема визначення зони забезпечення видимості на транспортних розв'язках

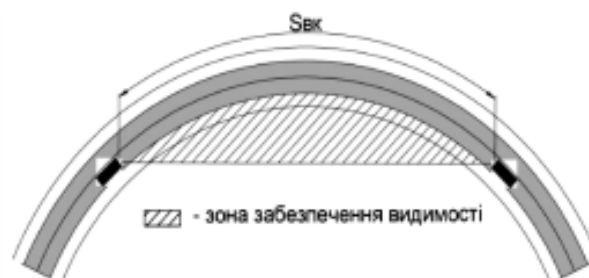


Рис.В.2. Схема визначення зони забезпечення видимості на кривих у плані

### Додаток Г. Алгоритм розробки та калібрування імітаційної моделі



Рис.Г.1. Алгоритм мікроімітаційного моделювання руху на транспортній розв'язці.

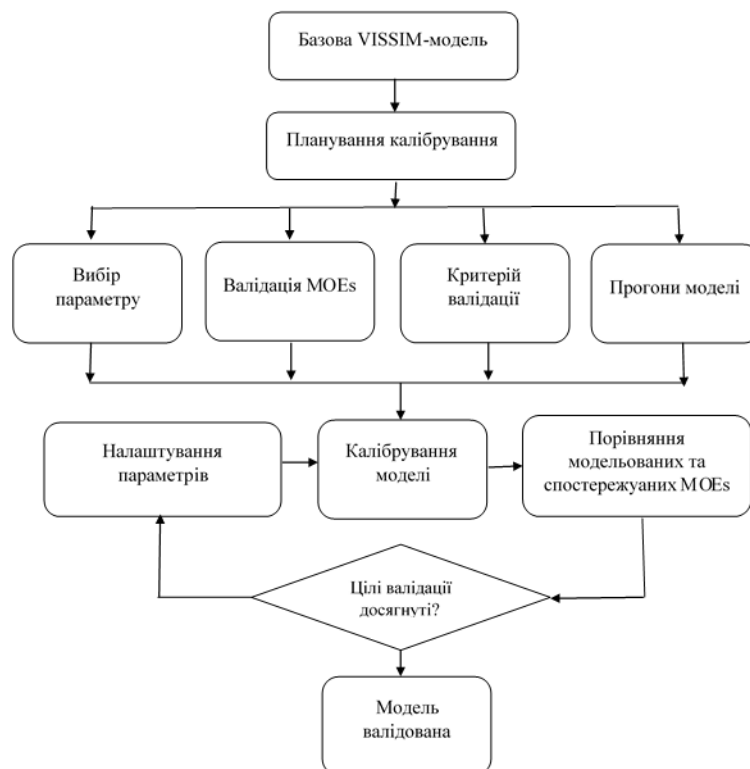


Рис.Г.2. Загальна процедура калібрування імітаційної моделі.

## Додаток Д. Дослідження перехрестя у платформі DataFromSky



Рис.Д.1. Відеозйомка перехрестя з БПЛА.

\*Unnamed Annotation Configuration\* 1 - Annotation Redefinition

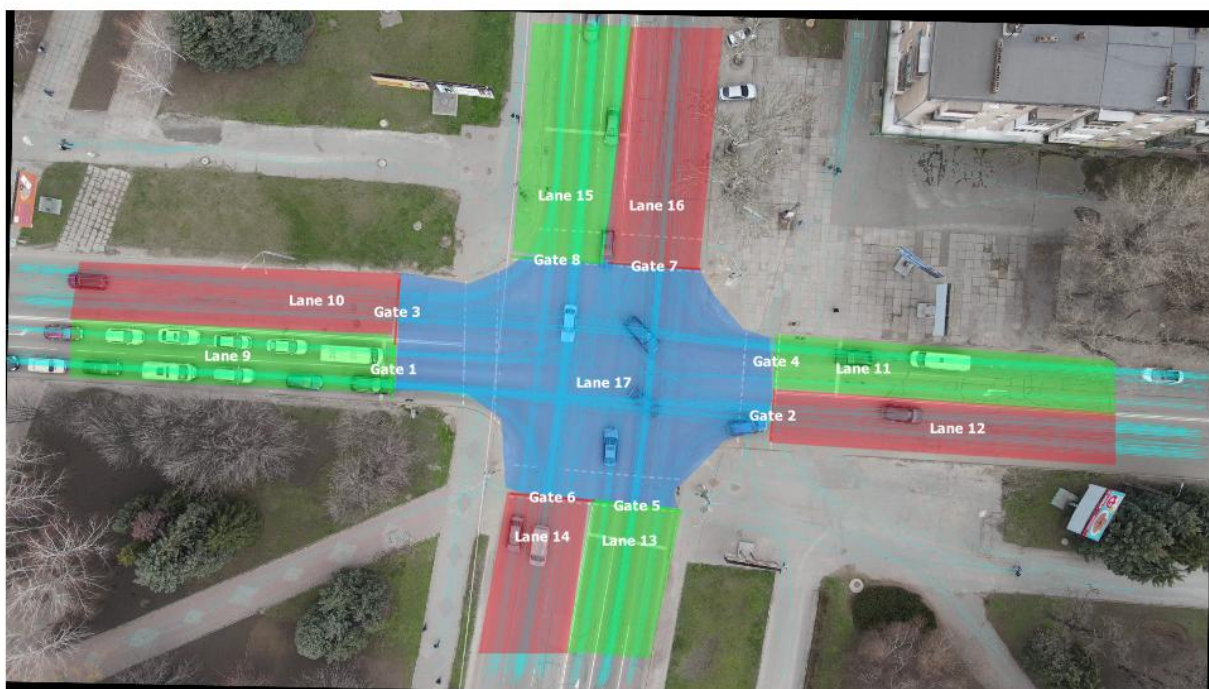


Рис.Д.2. Позначення робочого простору в DataFromSky Viewer

Табл.Д.1

**Позначення вхідних та вихідних лічильників та напрями  
відповідних транспортних потоків**

| <b>Номер та<br/>позначення<br/>лічильника</b> | <b>Тип<br/>лічильника</b> | <b>Напрямок транспортного потоку</b>                               |
|-----------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Gate 1                                        | Вхідний                   | Рух по вулиці В.Матусевича убік<br>вулиці В.Бизова                 |
| Gate 2                                        | Вихідний                  | Рух по вулиці В.Бизова                                             |
| Gate 3                                        | Вихідний                  | Рух по вул.В.Матусевича убік<br>зупинки Державний Цирк             |
| Gate 4                                        | Вхідний                   | Рух по вулиці В.Бизова убік вул.В.Матусевича                       |
| Gate 5                                        | Вхідний                   | Рух по просп.Металургів убік Соцміста<br>(до перехрестя)           |
| Gate 6                                        | Вихідний                  | Рух по просп. Металургів убік 95-го кварталу<br>(після перехрестя) |
| Gate 7                                        | Вихідний                  | Рух по просп.Металургів убік Соцміста<br>(після перехрестя)        |
| Gate 8                                        | Вхідний                   | Рух по просп. Металургів убік 95-го кварталу<br>(до перехрестя)    |

Табл.Д.2

**Матриця зародження-призначення транспортних потоків та фактична  
годинна інтенсивність транспортного руху**

| <b>Номер<br/>лічильника</b> | <b>Exit Gate 2</b> | <b>Exit Gate 3</b> | <b>Exit Gate 6</b> | <b>Exit Gate 7</b> | <b>Годинна<br/>інтенсивність<br/>руху транспорту,<br/>авто/год.</b> |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Entry Gate 1</b>         | 320                | 0                  | 140                | 156                | 616                                                                 |
| <b>Entry Gate 4</b>         | 0                  | 236                | 48                 | 44                 | 328                                                                 |
| <b>Entry Gate 5</b>         | 60                 | 73                 | 4                  | 472                | 608                                                                 |
| <b>Entry Gate 8</b>         | 60                 | 152                | 628                | 4                  | 844                                                                 |

Табл.Д.3

**Різниця в годинній інтенсивності руху за різними напрямками, %\***

| <b>Напрямок руху</b>                                         | Рух по вулиці В.Матусевича убік вулиці В.Бизова | Рух по вулиці В.Бизова убік вул. В.Матусевича | Рух по просп. Металургів убік Соцміста (до перехрестя) | Рух по просп. Металургів убік 95-го кварталу (до перехрестя) | Рух по просп. Металургів |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Рух по вулиці В.Матусевича убік вулиці В.Бизова              | 0                                               | -                                             | 1,3                                                    | 37                                                           | -                        |
| Рух по вулиці В.Бизова убік вул. В.Матусевича                | -                                               | 0                                             | 85                                                     | 154                                                          | -                        |
| Рух по просп. Металургів убік Соцміста (до перехрестя)       | 1,3                                             | 46                                            | 0                                                      | -                                                            | -                        |
| Рух по просп. Металургів убік 95-го кварталу (до перехрестя) | 27                                              | 61                                            | -                                                      | 0                                                            | -                        |
| Рух по вулицям В.Матусевича – В.Бизова                       | -                                               | -                                             | -                                                      | -                                                            | 34                       |

\*– для одного напрямку по різних вулицям перетину різниця не розраховувалась, оскільки необхідність такого розрахунку відсутня



Рис.Д.3. Лівоповоротні потоки та потоки прямого руху на перехресті

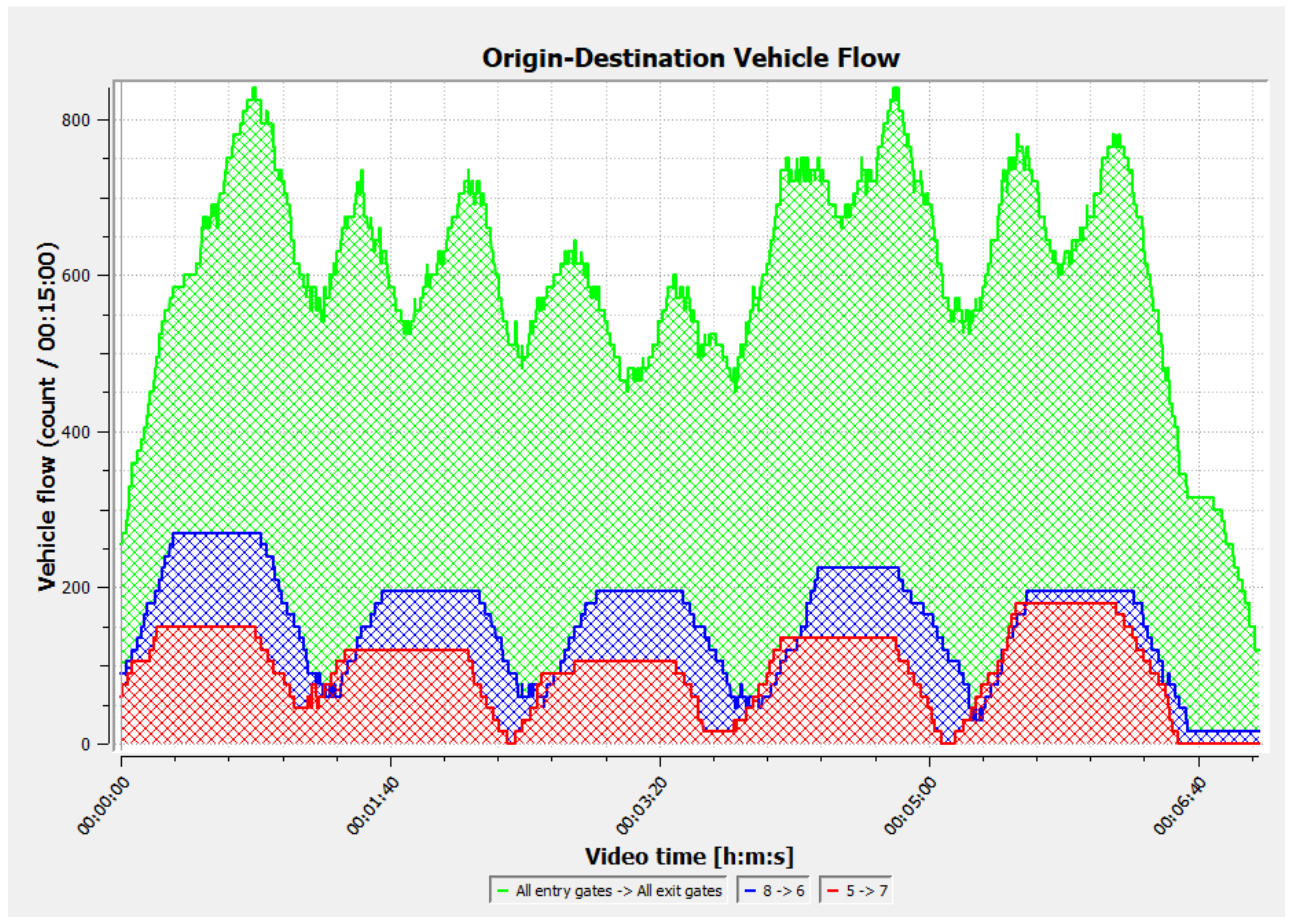


Рис.Д.4. Діаграма годинної інтенсивності руху для всіх лічильників та найбільш завантажених напрямків.

|                        | Gate 1 | Gate 4 | Gate 5 | Gate 8 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Car count              | 73     | 41     | 60     | 81     |
| Medium Vehicle count   | 5      | 5      | 5      | 11     |
| Heavy Vehicle count    | 1      | 0      | 2      | 2      |
| Bus count              | 1      | 0      | 1      | 3      |
| Motorcycle count       | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Bicycle count          | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Pedestrian count       | 0      | 3      | 2      | 0      |
| Number of all vehicles | 80     | 49     | 70     | 97     |

Рис.Д.5. Класифікація учасників руху, що проходять через вхідні лічильники.

### Склад транспортних потоків

| Тип ТЗ              | Gate 1 | Gate 4 | Gate 5 | Gate 8 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| Легкові автомобілі  | 0,98   | 1,00   | 0,96   | 0,95   |
| Вантажні автомобілі | 0,01   | 0,00   | 0,03   | 0,02   |
| Автобуси            | 0,01   | 0,00   | 0,01   | 0,03   |

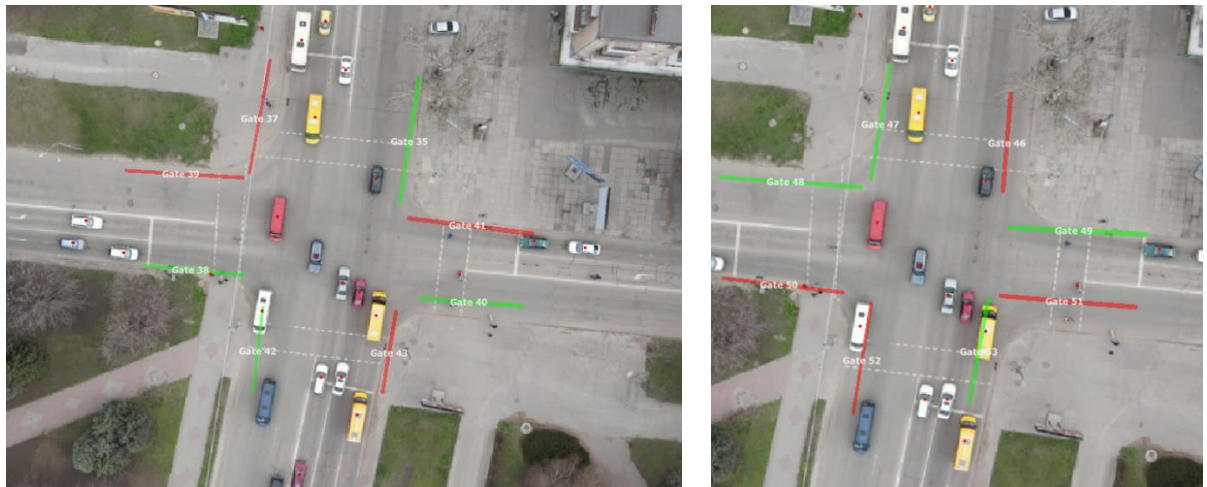


Рис.Д.6. Позначення робочого простору для руху пішоходів

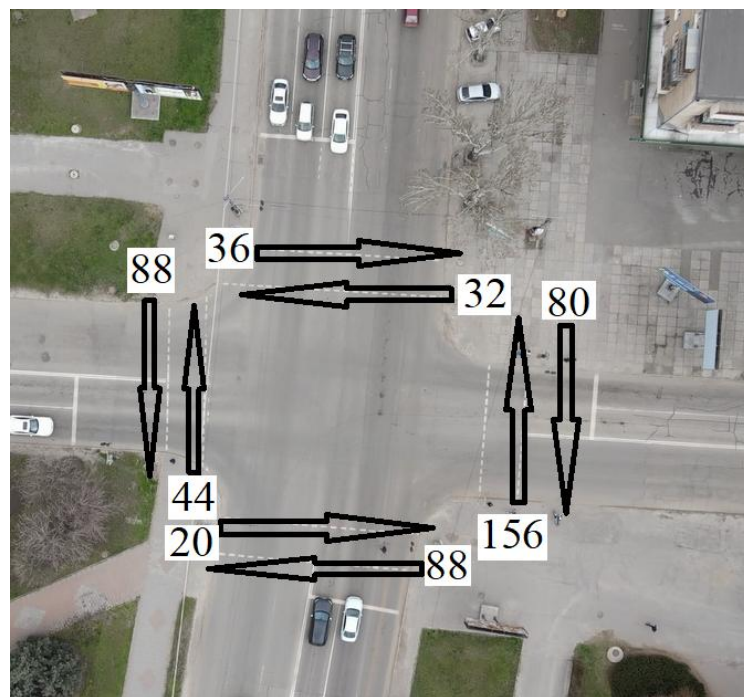


Рис.Д.7. Картограма інтенсивності пішохідних потоків

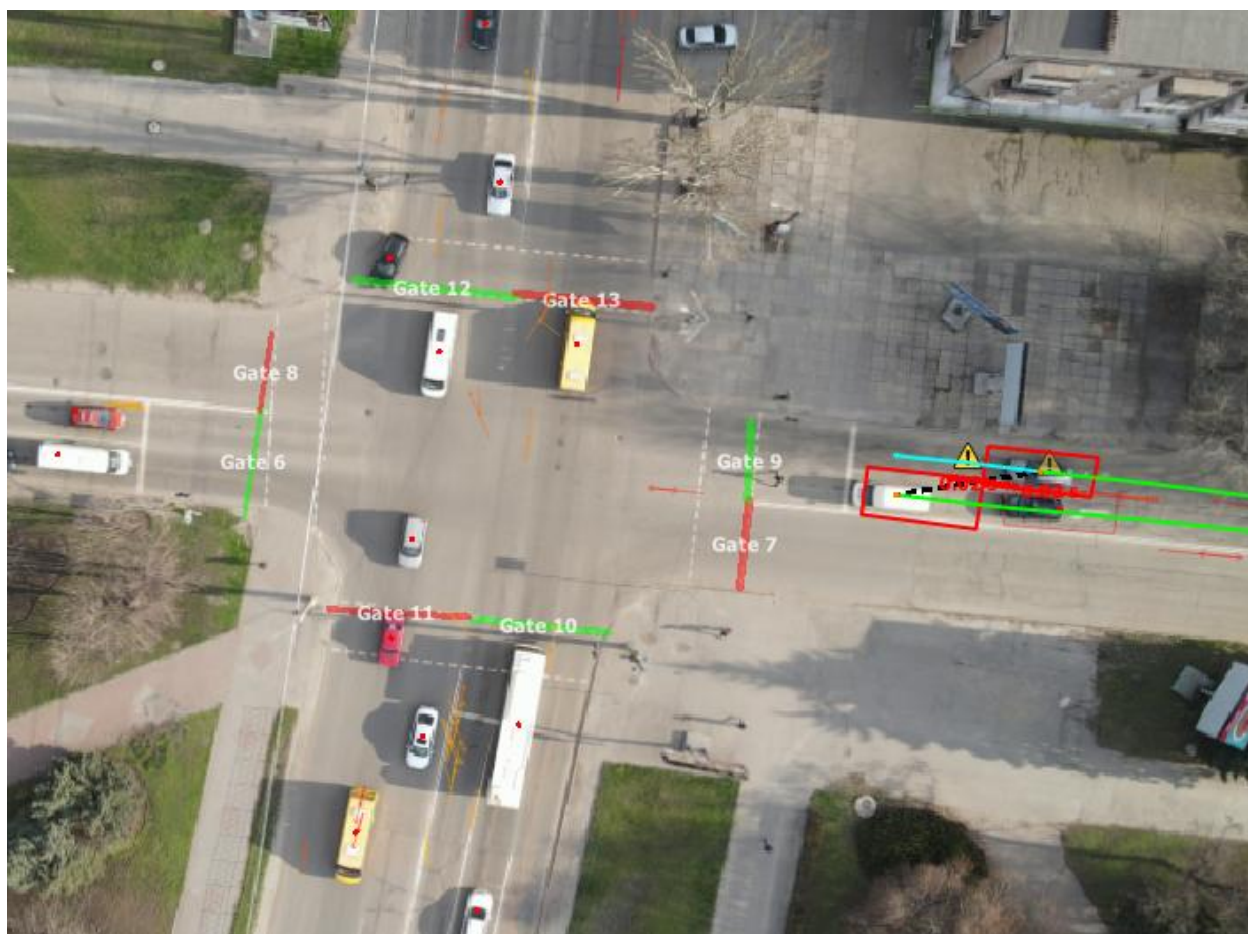


Рис.Д.8. Приклад конфлікту типу ТТС.

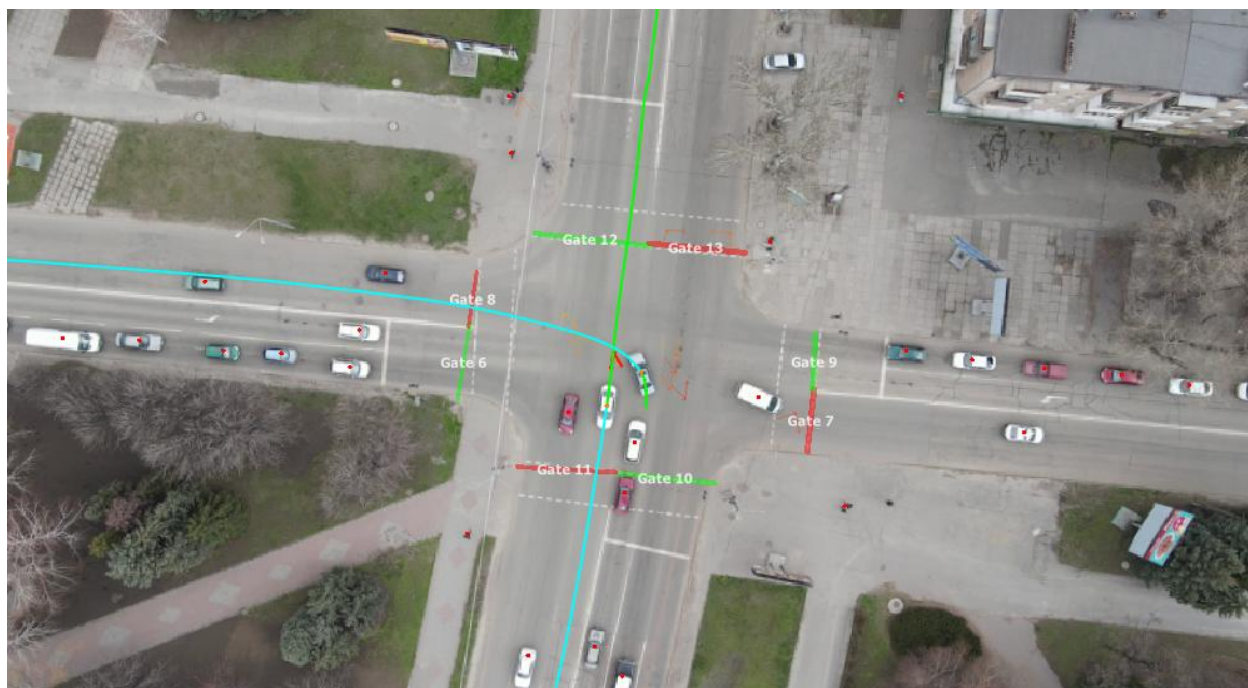


Рис.Д.9. Приклад конфлікту типу РЕТ для лівоповоротного потоку за напрямком «проспект Металургів – вулиця В.Матусевича».

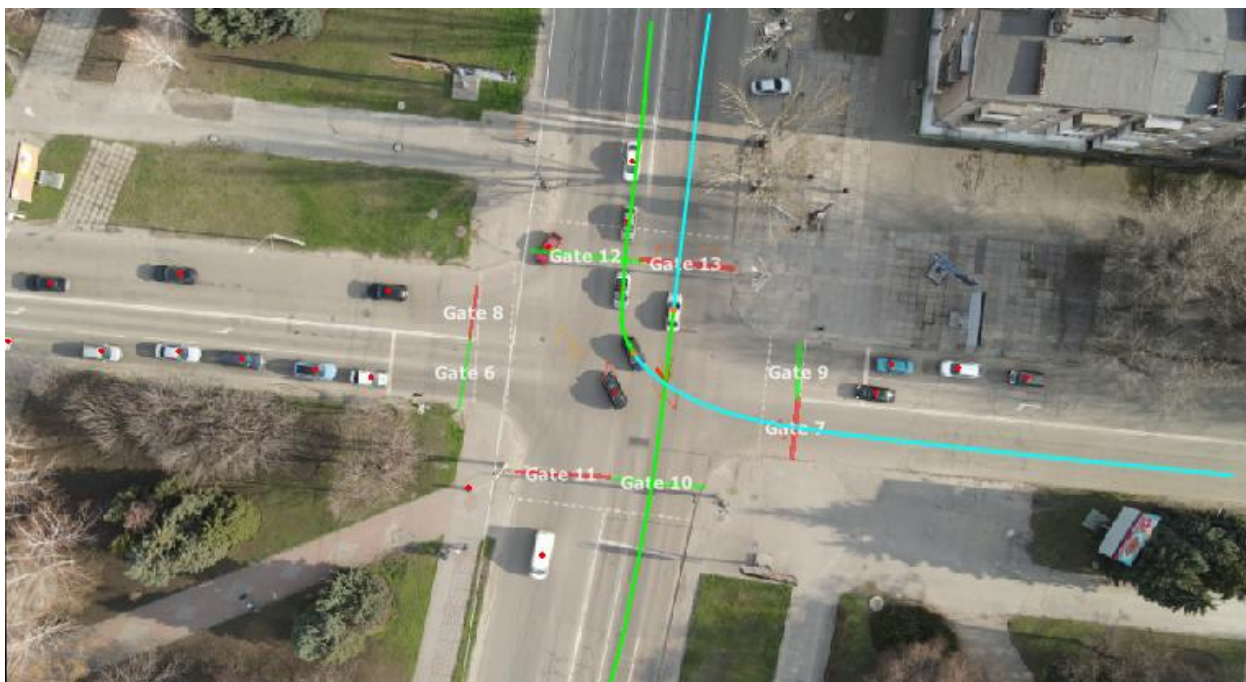


Рис.Д.10. Приклад конфлікту типу РЕТ для лівоповоротного потоку за напрямком «проспект Металургів – вулиця В. Бизова».

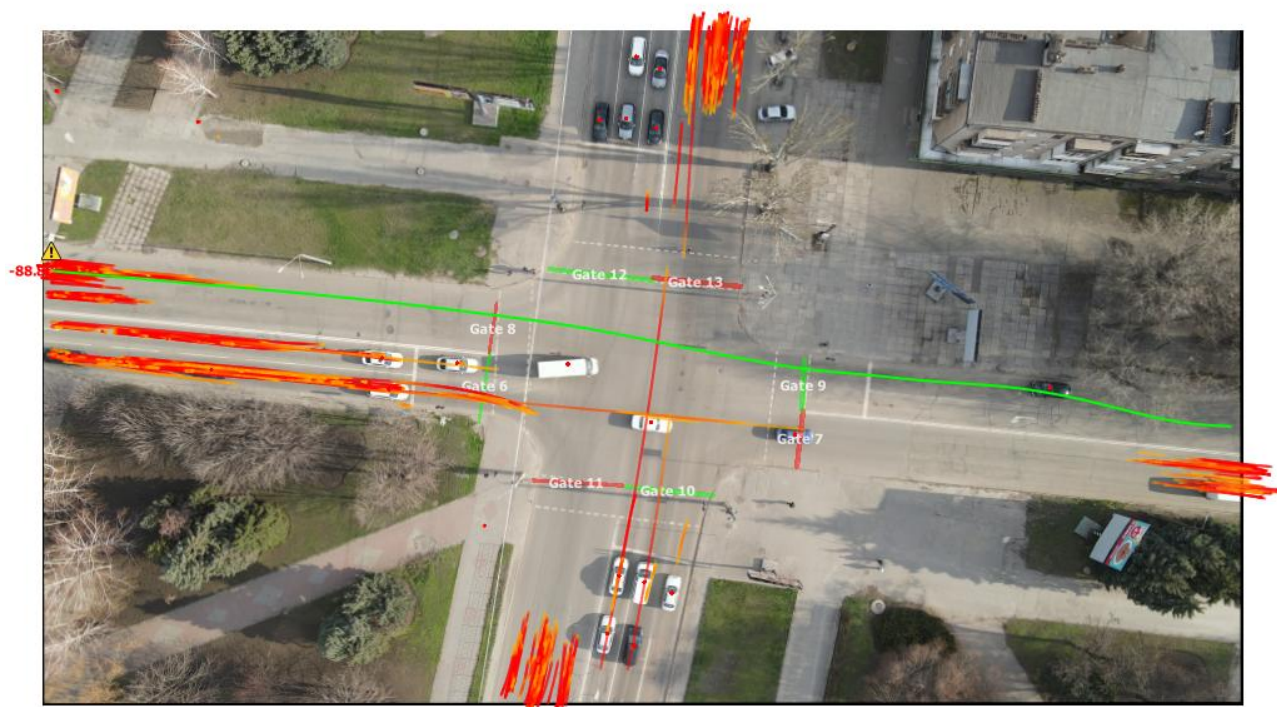


Рис.Д.11. Випадок максимального екстреного гальмування.

### Додаток Є. Імітаційна модель перехрестя

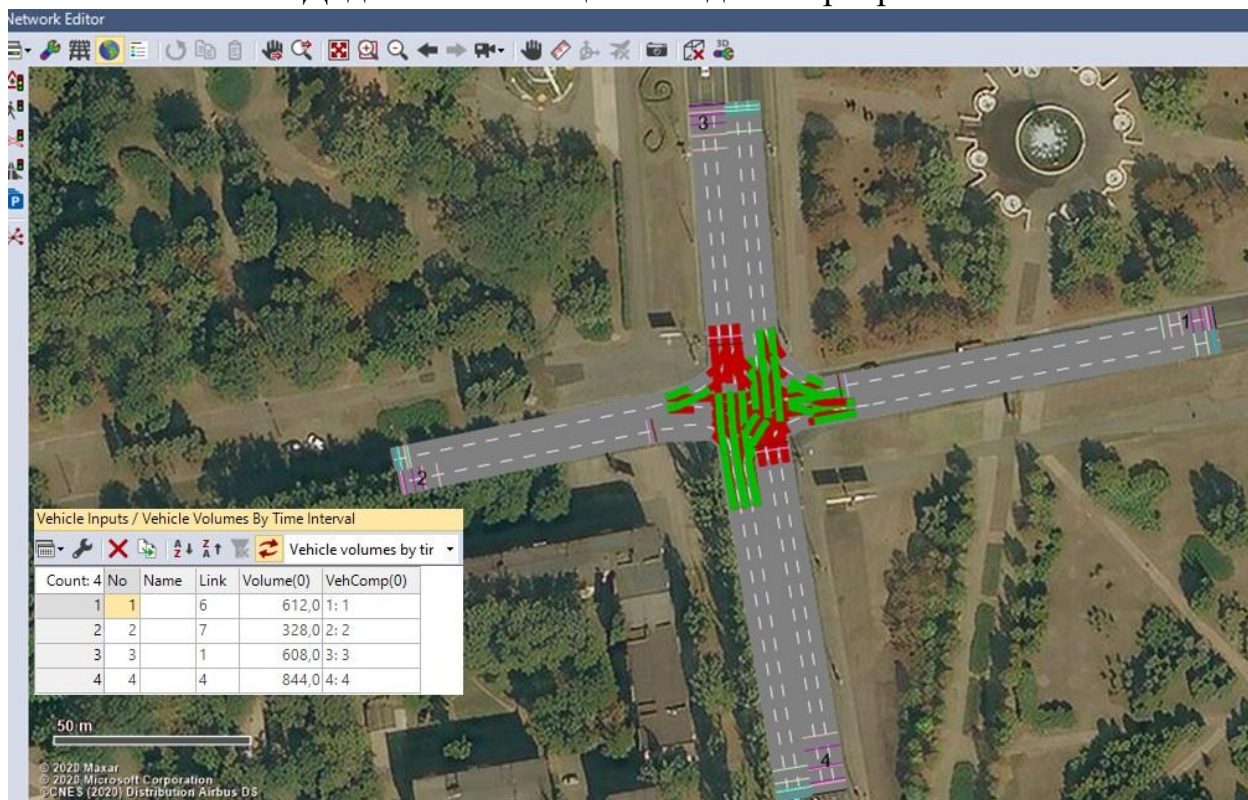


Рис. Є.1. Нумерація вхідних лічильників та інтенсивності руху, конфліктні зони.

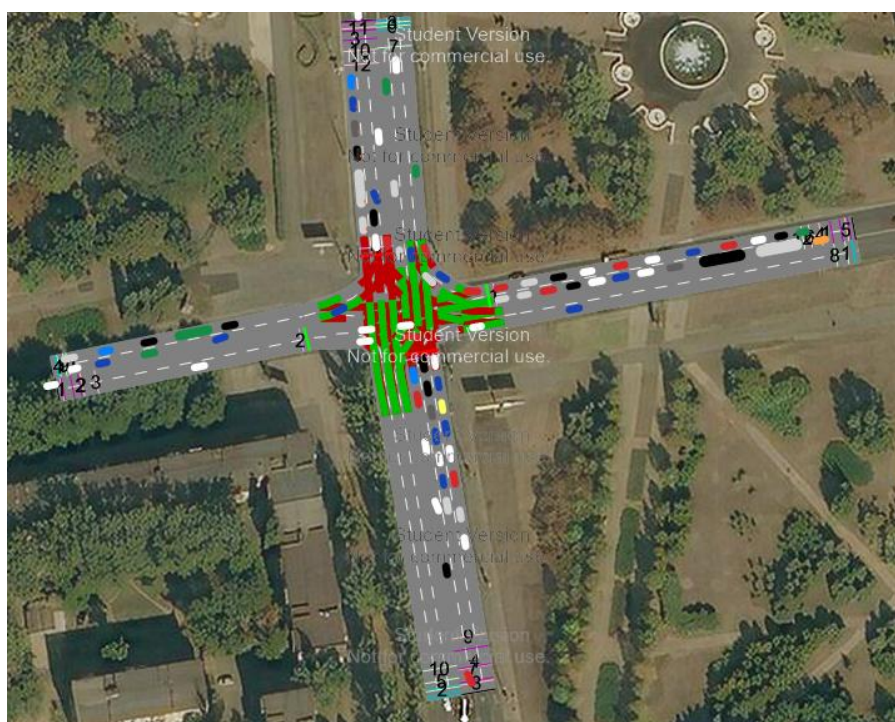


Рис.Є.2. Симуляція руху на перехресті.

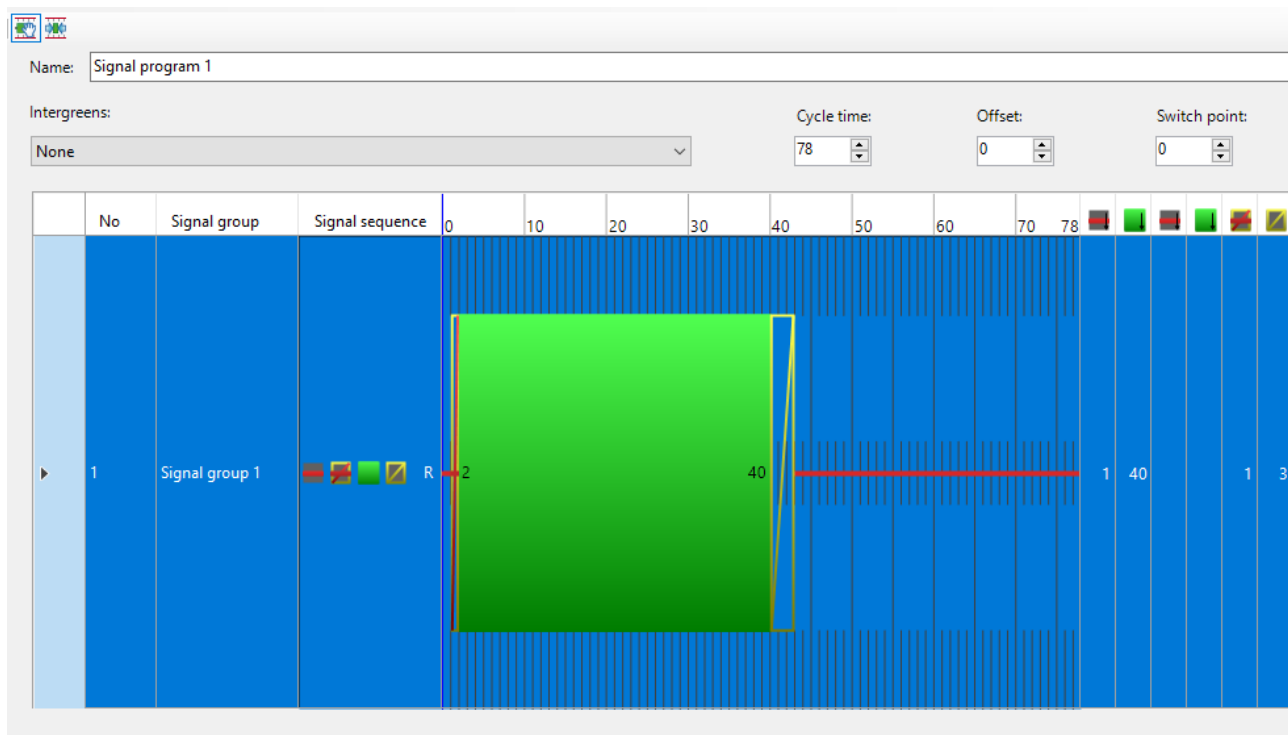
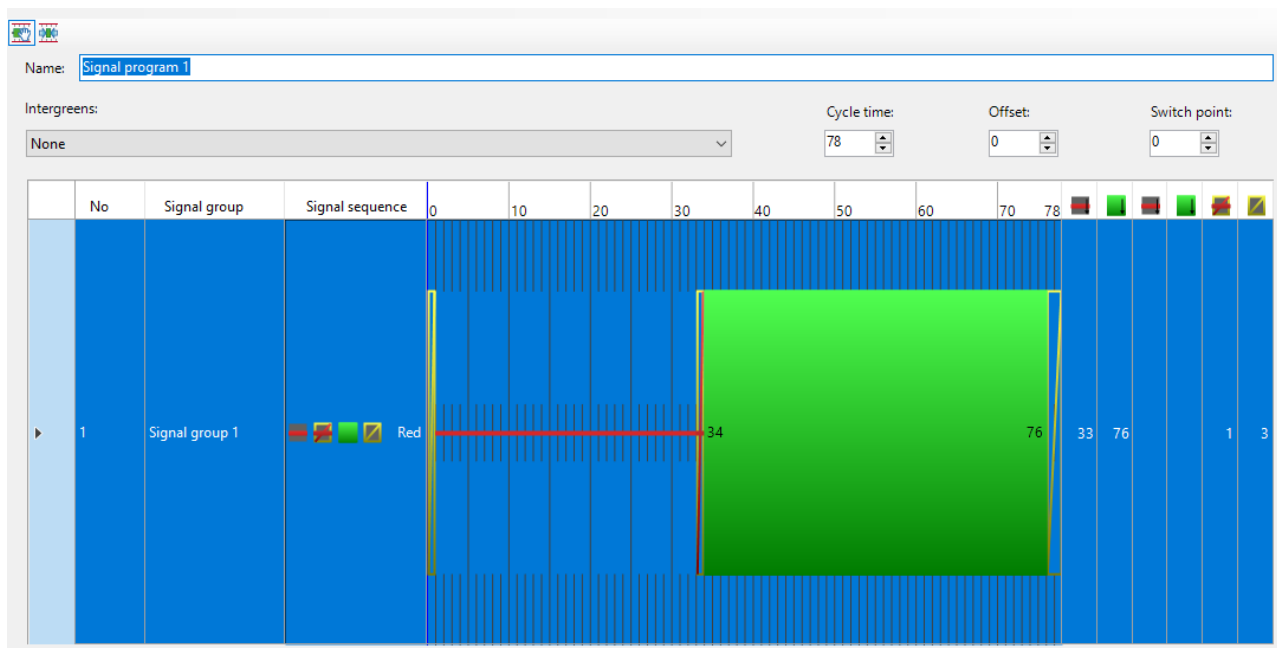


Рис.Є.3. Циклограма світлофору

### Додаток Ж. Калібрування імітаційної моделі

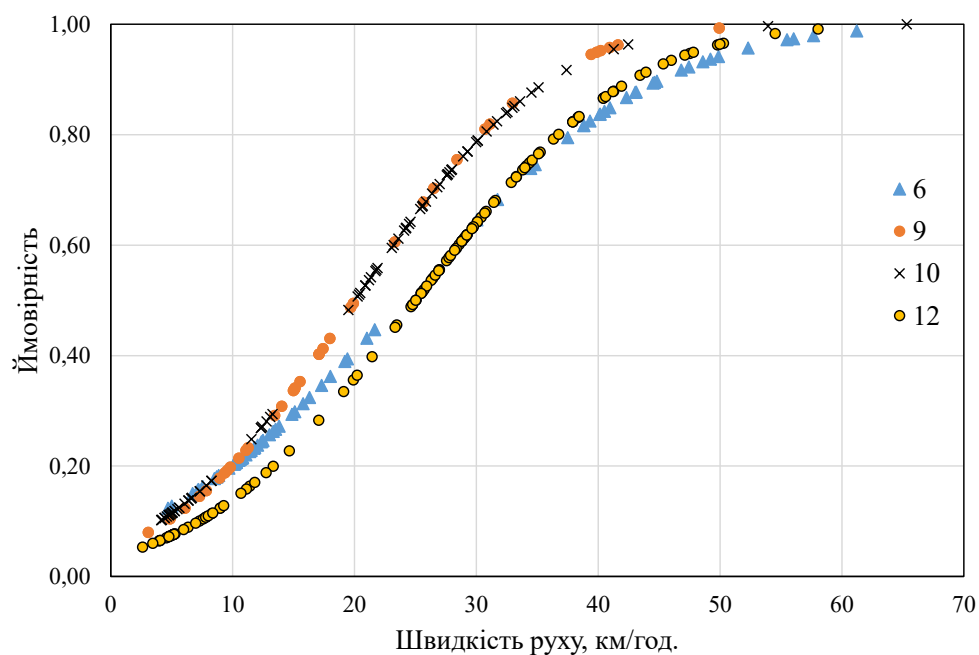


Рис.Ж.1. Функція розподілу швидкості транспортних потоків для вхідних лічильників 6, 9, 10, 12.

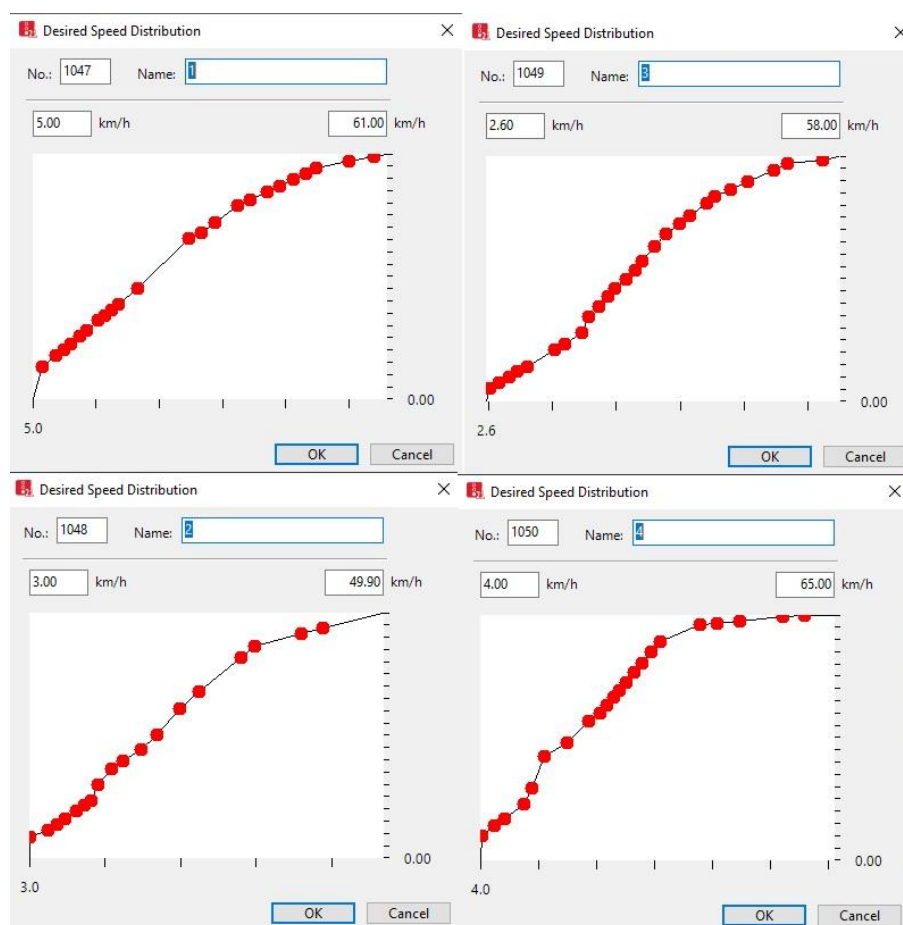


Рис. Ж.2. Побудовані графіки нормального розподілу швидкості руху у VISSIM для вхідних потоків 1-4.

### Додаток 3. Імітаційна модель кільцевої розв'язки

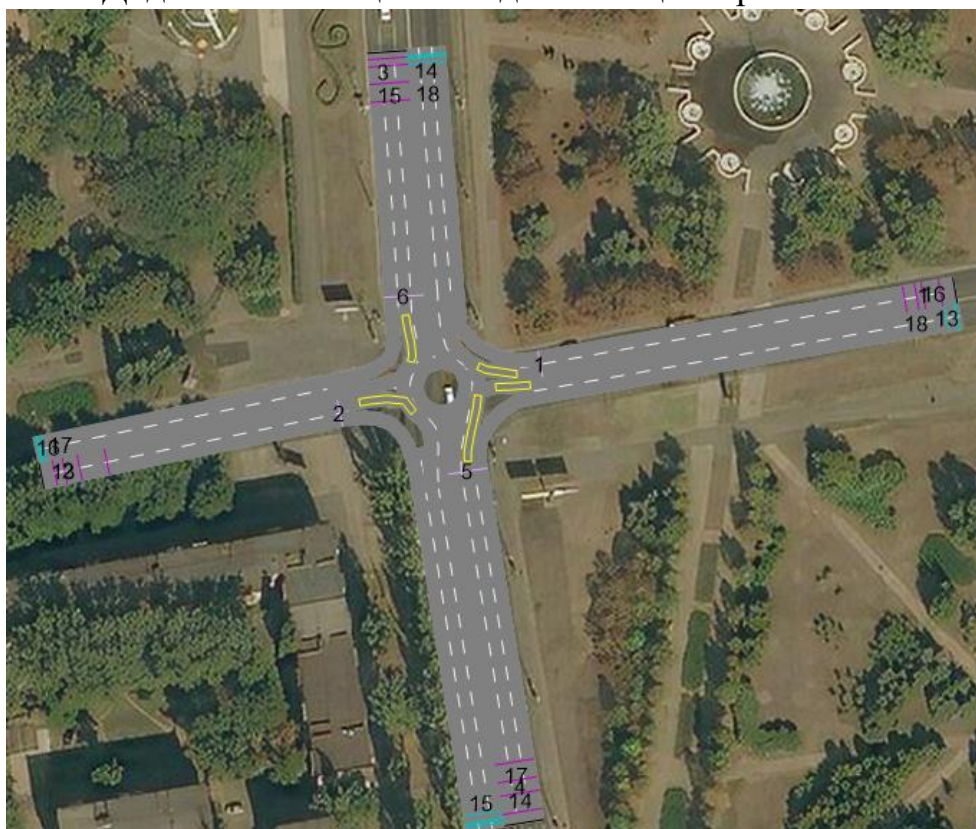


Рис.3.1. Загальний вид імітаційної моделі кільцевої розв'язки у VISSIM

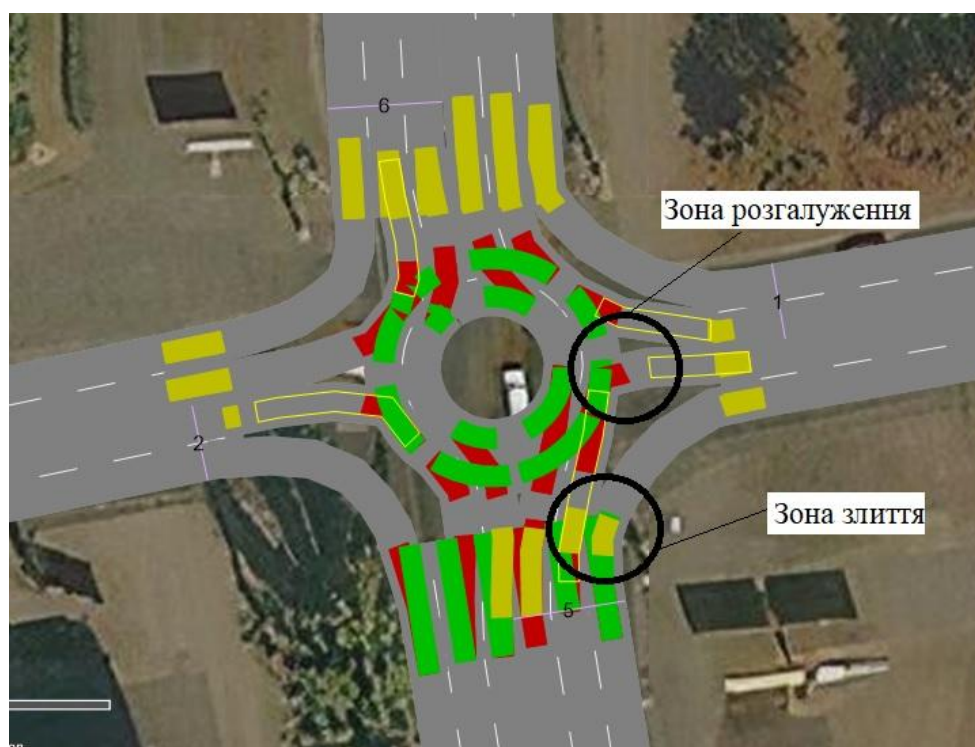


Рис.3.2. Конфліктні зони на перетині.

## Додаток І. Експлуатаційні показники альтернативних рішень

Vehicle Network Performance Evaluation Results

<

Рис.І.1. Показники ефективності існуючого нормального перехрестя проспекту Металургів та вулиці В.Матусевича

| Vehicle Network Performance Evaluation Results                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div></div></div></div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Рис.І.2. Показники ефективності альтернативної конфігурації розв'язки проспекту Металургів та вулиці В.Матусевича (звичайний кільцевий перетин із зміщенням центрального острівця)

Табл.И.1

**Діапазони рівнів обслуговування на регульованих перетинах, засновані на величині середньої затримки (stopped delay)**

| <b>Рівень обслуговування</b> | <b>Умови руху</b>                                                                                               | <b>Час, с</b> |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>A</b>                     | Затримка відсутня або мала                                                                                      | $\leq 5$      |
| <b>B</b>                     | Незначна тривалість циклу регулювання, добра координація                                                        | 5,1 – 15      |
| <b>C</b>                     | Тривалість циклу регулювання зросла, достатньо добра координація                                                | 15,1 – 25     |
| <b>D</b>                     | Значна тривалість циклу регулювання, достатньо добра координація                                                | 25,1 – 40     |
| <b>E</b>                     | Значна тривалість циклу регулювання, погана координація                                                         | 40,1 – 60     |
| <b>F</b>                     | Умови руху неприйнятні для більшості водіїв, інтенсивність на підходах перевищує пропускну здатність перехрестя | >60           |

Табл.И.2

**Діапазони рівнів обслуговування на регульованих перетинах, засновані на величині затримки від організації руху**

| <b>Рівень обслуговування</b> | <b>Умови руху</b>                                                                                               | <b>ACD, с</b> |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>A</b>                     | Затримка відсутня або мала                                                                                      | $\leq 10$     |
| <b>B</b>                     | Незначна тривалість циклу регулювання, добра координація                                                        | 10,1 – 20     |
| <b>C</b>                     | Тривалість циклу регулювання зросла, достатньо добра координація                                                | 20,1 – 35     |
| <b>D</b>                     | Значна тривалість циклу регулювання, достатньо добра координація                                                | 35,1 – 55     |
| <b>E</b>                     | Значна тривалість циклу регулювання, погана координація                                                         | 55,1 – 80     |
| <b>F</b>                     | Умови руху неприйнятні для більшості водіїв, інтенсивність на підходах перевищує пропускну здатність перехрестя | >80           |

Табл.И.3

**Діапазони рівнів обслуговування на нерегульованих перетинах, засновані на величині затримки від організації руху**

| <b>Рівень обслуговування</b> | <b>ACD, с</b> |
|------------------------------|---------------|
| <b>A</b>                     | $\leq 10$     |
| <b>B</b>                     | 10,1 – 15     |
| <b>C</b>                     | 15,1 – 25     |
| <b>D</b>                     | 25,1 – 35     |
| <b>E</b>                     | 35,1 – 50     |
| <b>F</b>                     | >50           |

| Queue Results                                                                     |         |         |              |       |         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------|-------|---------|--------|
|  |         |         |              |       |         |        |
| Count: 28                                                                         | SimRun  | TimeInt | QueueCounter | QLen  | QLenMax | QStops |
| 1                                                                                 | 20      | 0-3600  | 1            | 62,82 | 100,74  | 142    |
| 2                                                                                 | 20      | 0-3600  | 2            | 8,14  | 53,11   | 38     |
| 3                                                                                 | 20      | 0-3600  | 3            | 34,46 | 93,88   | 149    |
| 4                                                                                 | 20      | 0-3600  | 4            | 44,60 | 72,16   | 137    |
| 5                                                                                 | 21      | 0-3600  | 1            | 62,82 | 100,74  | 142    |
| 6                                                                                 | 21      | 0-3600  | 2            | 8,14  | 53,11   | 38     |
| 7                                                                                 | 21      | 0-3600  | 3            | 34,46 | 93,88   | 149    |
| 8                                                                                 | 21      | 0-3600  | 4            | 44,60 | 72,16   | 137    |
| 9                                                                                 | 22      | 0-3600  | 1            | 65,27 | 100,69  | 158    |
| 10                                                                                | 22      | 0-3600  | 2            | 8,26  | 53,66   | 36     |
| 11                                                                                | 22      | 0-3600  | 3            | 36,93 | 93,91   | 177    |
| 12                                                                                | 22      | 0-3600  | 4            | 44,87 | 72,16   | 135    |
| 13                                                                                | Average | 0-3600  | 1            | 63,64 | 100,72  | 147    |
| 14                                                                                | Average | 0-3600  | 2            | 8,18  | 53,30   | 37     |
| 15                                                                                | Average | 0-3600  | 3            | 35,29 | 93,89   | 158    |
| 16                                                                                | Average | 0-3600  | 4            | 44,69 | 72,16   | 136    |

Рис.И.4. Результати визначення довжини черги ТЗ для базового варіанту

| Queue Results                                                                       |         |         |              |       |         |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------|-------|---------|--------|
|  |         |         |              |       |         |        |
| Count: 28                                                                           | SimRun  | TimeInt | QueueCounter | QLen  | QLenMax | QStops |
| 1                                                                                   | 4       | 0-3600  | 1            | 83,80 | 101,35  | 53     |
| 2                                                                                   | 4       | 0-3600  | 2            | 12,01 | 65,24   | 22     |
| 3                                                                                   | 4       | 0-3600  | 5            | 53,53 | 86,31   | 131    |
| 4                                                                                   | 4       | 0-3600  | 6            | 39,00 | 68,50   | 123    |
| 5                                                                                   | 5       | 0-3600  | 1            | 8,23  | 34,08   | 7      |
| 6                                                                                   | 5       | 0-3600  | 2            | 0,13  | 9,53    | 1      |
| 7                                                                                   | 5       | 0-3600  | 5            | 2,83  | 13,96   | 3      |
| 8                                                                                   | 5       | 0-3600  | 6            | 6,59  | 32,25   | 3      |
| 9                                                                                   | 6       | 0-3600  | 1            | 84,72 | 101,32  | 45     |
| 10                                                                                  | 6       | 0-3600  | 2            | 12,34 | 66,16   | 19     |
| 11                                                                                  | 6       | 0-3600  | 5            | 58,48 | 91,73   | 144    |
| 12                                                                                  | 6       | 0-3600  | 6            | 42,20 | 66,31   | 134    |
| 13                                                                                  | Average | 0-3600  | 1            | 58,92 | 78,92   | 35     |
| 14                                                                                  | Average | 0-3600  | 2            | 8,16  | 46,98   | 14     |
| 15                                                                                  | Average | 0-3600  | 5            | 38,28 | 64,00   | 93     |
| 16                                                                                  | Average | 0-3600  | 6            | 29,26 | 55,69   | 87     |

Рис.И.5. Результати визначення довжини черги ТЗ для альтернативного рішення.

## Додаток І. Звіти SSAM

SSAM3

| Configuration   Conflicts   Summary   Filter   ttest   Map |              |              |          |          |             |  |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------|----------|-------------|--|
| NO FILTER APPLIED                                          |              |              |          |          |             |  |
| Summary Group                                              | SSAM_Measure | Min          | Max      | Mean     | Variance    |  |
| Summary Group                                              | SSAM_Measure | Min          | Max      | Mean     | Variance    |  |
| Unfiltered-All F...                                        | TTC          | 0.00         | 1.50     | 0.68     | 0.38        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | PET          | 0.00         | 4.80     | 1.59     | 2.33        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | MaxS         | 0.25         | 10.27    | 3.32     | 3.12        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | DeltaS       | 0.00         | 8.65     | 2.34     | 2.53        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | DR           | -7.77        | 3.08     | -1.71    | 6.53        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | MaxD         | -8.09        | 3.08     | -3.38    | 8.83        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | MaxDeltaV    | 0.00         | 6.09     | 1.31     | 0.97        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | P(UEA)       | 1.00         | 1.00     | 1.00     | 0.00        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | mTTC         | 99.00        | 99.00    | 99.00    | 0.00        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | mPET         | 99.00        | 99.00    | 99.00    | 0.00        |  |
| Summary Group                                              | SSAM_Measure | Min          | Max      | Mean     | Variance    |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | TTC          | 0.00         | 1.50     | 0.68     | 0.38        |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | PET          | 0.00         | 4.80     | 1.59     | 2.33        |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | MaxS         | 0.25         | 10.27    | 3.32     | 3.12        |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | DeltaS       | 0.00         | 8.65     | 2.34     | 2.53        |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | DR           | -7.77        | 3.08     | -1.71    | 6.53        |  |
| Summary Group                                              | Total        | unclassified | crossing | rear end | lane change |  |
| Unfiltered-All F...                                        | 254          | 0            | 8        | 190      | 56          |  |

Рис.І.1.Підсумковий звіт SSAM для базового варіанту перехрестя

| Configuration   Conflicts   Summary   Filter   ttest   Map |              |              |          |          |             |  |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------|----------|-------------|--|
| NO FILTER APPLIED                                          |              |              |          |          |             |  |
| Summary Group                                              | SSAM_Measure | Min          | Max      | Mean     | Variance    |  |
| Summary Group                                              | SSAM_Measure | Min          | Max      | Mean     | Variance    |  |
| Unfiltered-All F...                                        | TTC          | 0.00         | 1.50     | 0.77     | 0.39        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | PET          | 0.00         | 4.60     | 1.49     | 2.04        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | MaxS         | 0.22         | 11.04    | 4.38     | 3.81        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | DeltaS       | 0.02         | 8.50     | 2.79     | 3.33        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | DR           | -8.16        | 2.67     | -1.56    | 6.78        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | MaxD         | -8.18        | 2.67     | -3.36    | 11.23       |  |
| Unfiltered-All F...                                        | MaxDeltaV    | 0.01         | 5.18     | 1.54     | 1.09        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | P(UEA)       | 1.00         | 1.00     | 1.00     | 0.00        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | mTTC         | 99.00        | 99.00    | 99.00    | 0.00        |  |
| Unfiltered-All F...                                        | mPET         | 99.00        | 99.00    | 99.00    | 0.00        |  |
| Summary Group                                              | SSAM_Measure | Min          | Max      | Mean     | Variance    |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | TTC          | 0.00         | 1.50     | 0.77     | 0.39        |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | PET          | 0.00         | 4.60     | 1.49     | 2.04        |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | MaxS         | 0.22         | 11.04    | 4.38     | 3.81        |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | DeltaS       | 0.02         | 8.50     | 2.79     | 3.33        |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | DR           | -8.16        | 2.67     | -1.56    | 6.78        |  |
| Summary Group                                              | Total        | unclassified | crossing | rear end | lane change |  |
| Unfiltered-All F...                                        | 236          | 0            | 11       | 173      | 52          |  |
| Unfiltered-C:\...                                          | 236          | 0            | 11       | 173      | 52          |  |

Рис.І.1.Підсумковий звіт SSAM у випадку влаштування кільцевого перетину

