

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему Методологічні основи технології інтелектуального аналізу руху із використанням безпілотних літальних апаратів

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТТ-17 _____ В.О.Бондарь
(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

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бондаря Віктора Олександровича

1. Тема *Методологічні основи технології інтелектуального аналізу руху із використанням безпілотних літальних апаратів*

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

затверджені наказом університету від 21.04.2021 року № 323с.

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) 1. Основні положення щодо технології інтелектуального відеоаналізу дорожнього руху 2. Повітряна зйомка руху на перехресті 3. Конфігурація позначень в DataFromSky. 4. Методологія аналізу експлуатаційних показників транспортної розв'язки. 5. Інтелектуальний відеоаналіз транспортних потоків на прикладі перехрестя проспекту Металургів та Нікопольського шосе

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

Графіки та діаграми по результатам 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 21.04.21

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Основні положення щодо технології інтелектуального відеоаналізу дорожнього руху	21.04 -30.04	
2	Повітряна зйомка руху на перехресті	23.04	
3	Конфігурація позначень в DataFromSky	01.05 – 4.05	
4	Методологія аналізу експлуатаційних показників транспортної розв'язки	4.05 – 10.05	
5	Інтелектуальний відеоаналіз транспортних потоків на прикладі перехрестя проспекту Металургів та Нікопольського шосе	11.05 – 21.05	
6	Оформлення пояснювальної записки і презентації	21.05 – 27.05	

Студент

(підпис)

В.О. Бондарь

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Сістук

РЕФЕРАТ

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

Робота спрямована на розробку методології дослідження дорожнього руху за допомогою інструментів платформи Datafromsky.

Об'єктом дослідження є програма інтелектуального аналізу даних, отриманих на основі відеоспостережень дорожнього руху, а предметом – експлуатаційні показники нормального перехрестя, отримані з програм інтелектуального відео аналізу даних дорожнього руху.

З метою перевірки та оцінки функціоналу Datafromsky проведено обстеження перехрестя проспекту Металургів та Нікопольського шосе у місті Кривий Ріг (візуальні спостереження у пікові години доби та повітряна відеозйомка за допомогою БПЛА). Встановлено, що у порівнянні з візуальним методом обстеження інтенсивності руху транспорту, існує суттєва різниця у виявленні вантажних автомобілів (по Нікопольському шосе 29% від загальної кількості за візуальними спостереженнями проти 4% відповідно до Datafromsky). Різниця в інтенсивності руху транспорту за двома методами у різних напрямках становила 13 – 15%, що, є припустимим, зважаючи на різні дні досліджень.

Враховуючи порівняно малу різницю в інтенсивності руху між двома вулицями, велику долю лівоповоротних потоків від потоків прямого руху по Нікопольському шосе (52% та 29% у протилежних напрямках), практично відсутністю пішохідного руху поблизу перехрестя, велику кількість потенційних конфліктів типу «наїзд ззаду», «перетин» рішенням щодо підвищення безпеки руху може виступати влаштування кільцевого перетину із розширенням площі проїзної частини, яке потребує подальших техніко-економічних обґрунтувань, що не входять до задач даного дослідження.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ DATAFROMSKY	9
1.1. Загальні відомості про технологію інтелектуального відеоаналізу руху	9
1.2. Відстеження траєкторій учасників руху в DataFromSky	12
1.3. Графік швидкості та прискорення транспортних засобів.....	14
1.4. Візуалізація параметрів	14
РОЗДІЛ 2. КОНФІГУРАЦІЯ ПОЗНАЧЕНЬ В DATAFROMSKY.....	18
2.1. Редактор конфігурації позначень	18
2.2. Створення та редагування лічильників	20
2.3. Створення та редагування смуг	23
2.4. Створення та редагування області анонімізації.....	25
2.5. Створення та редагування області дії	26
2.6. Створення та редагування області дорожнього руху	27
2.7. Створення та редагування вимірювального вузла	29
2.8. Визначення помилки зміщення координат	32
РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЯ АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНОЇ РОЗВ'ЯЗКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ DATAFROMSKY	34
3.1. Загальні відомості	34
3.2. Геореєстрація відеокадру	35
3.3. Динаміка дорожнього руху	35
3.4. Матриці зародження-призначення транспортних потоків	38

3.5. Розрахунок інтервалів часу між двома послідовними транспортними засобами	43
3.6. Аналіз безпеки дорожнього руху	44
3.7. Висновки до розділу 3	50
РОЗДІЛ 4. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ВІДЕОАНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПРИКЛАДІ ПЕРЕХРЕСТЯ ПРОСПЕКТУ МЕТАЛУРГІВ ТА НІКОПОЛЬСЬКОГО ШОСЕ У МІСТІ КРИВИЙ РІГ	51
4.1.Актуальність дослідження перехрестя	51
4.2. Шаблон протоколу дослідження	52
4.3. Польові дослідження транспортної розв'язки	52
4.4. Конфігурація позначень відеокадру.....	54
4.5. Показники динаміки руху	54
4.6. Показники інтенсивності руху.....	56
4.7. Аналіз безпеки руху.....	57
4.8. Висновки до розділу 4	60
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63
Додаток А. Схема перехрестя	66
Додаток Б. Опис матеріалів по результатам аналізу дорожнього руху за допомогою DataFromSky Viewer	67
Додаток В. Результати візуальних обстежень інтенсивності транспортних потоків	68
Додаток Г. Робота з DataFromSky Viewer.....	70
Додаток Д. Аналіз безпеки руху	73

ВСТУП

Актуальність теми. 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.

У такій ситуації, програми автоматизованого відеоаналізу інтенсивності транспортних потоків із застосуванням штучного інтелекту, такі як технологія Datafromsky, виглядають альтернативною традиційним методам обробки польових даних про дорожній рух. Оскільки методологічна основа для використання таких програм у вітчизняних джерелах відсутня, актуальним завданням є розробка методології дослідження дорожнього руху за допомогою програми відеоаналізу руху.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методологічних основ технології інтелектуального аналізу руху із використанням безпілотних літальних апаратів.

Задачі дослідження:

– розробити загальну методику (й протокол досліджень) аналізу відеофрагменту дорожнього руху з урахуванням наявних інструментів платформи Datafromsky;

– виконати візуальні обстеження щодо складу та інтенсивності транспортних потоків на перехресті проспекту Металургів та Нікопольського шосе у місті Кривий Ріг, яке прилічене до місць концентрації дорожньо-транспортних пригод;

– провести інтелектуальний відеоаналіз руху з оцінкою безпеки руху на перехресті проспекту Металургів та Нікопольського шосе за розробленим протоколом досліджень та порівняти показники інтенсивності та складу транспортних потоків із результатами візуальних обстежень;

– розробити рекомендації за результатами проведених досліджень.

Об’єкт дослідження – програма інтелектуального аналізу даних руху Datafromsky.

Предмет дослідження – експлуатаційні показники нормального перехрестя, отримані з програм інтелектуального відео аналізу даних дорожнього руху.

Методи дослідження. Аналіз, синтез, узагальнення, системний підхід, штучний інтелект, повітряна відеозйомка, візуальні обстеження інтенсивності руху, комп’ютерний зір, математична статистика, детерміністичний підхід.

Практичне значення одержаних результатів. Розвиток та поглиблення уявлень про сучасні методи автоматизованої обробки даних дорожнього руху за допомогою штучного інтелекту. Розроблена процедура оцінки дорожньої мережі може слугувати практичним керівництвом для прийняття рішень в області організації руху.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань, 4 додатків. Загальний обсяг роботи – 65 с, з яких 64 с основного тексту та 9 с додатків, 53 рисунку та 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ DATAFROMSKY

1.1. Загальні відомості про технологію інтелектуального відеоаналізу руху

На сьогодні програми автоматизованого аналізу інтенсивності транспортних потоків із застосуванням штучного інтелекту виглядають альтернативною традиційним методам обробки польових даних про дорожній рух. Однією з таких програм є DataFromSky від R.C.E. Systems [**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**].

DataFromSky Viewer є програмою, яка поєднує між собою дані відеоряду, геопосилання, позначення (*Annotation*) та траєкторії транспортних засобів (ТЗ), що відстежуються.

Програма працює із файлом протоколу трасування (*Tracking Log*), який представляє собою пакет даних, що містить інформацію про відеоролик для аналізу дорожнього руху, геопосилання щодо відеоролику, що аналізується, та виявлені або позначені користувачем дані про траєкторію транспортного засобу (ТЗ). Протокол трасування зберігається у файлах із розширенням «.tlg». Може бути згенерованим в екстракторі траєкторії DataFromSky (автоматичне виявлення та відстеження ТЗ) або DataFromSky Viewer (ручне позначення траєкторій руху автомобіля). Кожне відстеження тісно пов'язане з файлом відеоролику, оскільки само по собі воно не містить даних про зображення (образ). У випадку, якщо необхідно переглянути або відредагувати протокол трасування у DataFromSky Viewer, надається оригінальний файл з відеороликом.

Таким чином, протокол трасування є основним матеріалом для аналізу дорожнього руху у DataFromSky Viewer.

Програма має такі функціональні можливості [Помилка! Джерело посилення не знайдено.]:

- створення файлів протоколу трасування (*Tracking Log*) шляхом процедури геореєстрації відео (*geo-registration*) та ручного позначення траєкторії транспортного засобу (*annotation configuration*);
- перевірка наявних файлів протоколу трасування (“*.tlg*”) разом з проаналізованими відеороликами;
- редагування існуючих файлів протоколу трасування: додавання нових треків, коригування та видалення вміщених композицій;
- експорт даних відстеження транспортних засобів у файли даних CSV, придатних для подальшого аналізу траєкторії транспортного засобу;
- обчислення та експорт даних про такі параметри як «Час до переходу» (*Time-to-Gate*) та «Час до слідування» (*Time-to-Follow*);
- створення відео візуалізації позначених або виявлених траєкторій руху ТЗ.

У режимі “Light” (відеозйомка з дорожніх камер) доступно лише позначення транспортних засобів у вигляді відповідних прапорців.

У режимі “Aerial” (відеозйомка з безпілотного літального апарату) доступні такі функції:

- геореєстрація даних;
- аналіз проміжків часу та часу слідування;
- аналіз безпеки руху на основі замісних показників (час до зіткнення (*Time To Collision*), час після вторгнення (*Post Encroachment Time*), гальмування (*Heavy Braking*));
- експорт траєкторій в файл формату CSV;
- виправлення зміщення проекції;
- розрахунок статистики проїзду.

При першому вході в меню «*File*» - «*Open Tracking Log*» оберасться файл протоколу трасування.

Після завантаження протоколу трасування необхідно вказати шлях до файлу відеоролику. У головному вікні програми з'являється вид робочого простору (*Scene View*), приклад якої представлено на рис.1.1.

Робочий простір показує кадр із відео, який перетворено у робочий простір із транспортними засобами, що виявлені/відслідковуються. Зверху екрана розташована головна панель інструментів (рис.1.2), де для кожного об'єкта відстеження можна обрати ідентифікаційний номер (*ID*), номер ярлику (*Target Tag*), тип транспортного засобу (*Target Type*), Декартові координати транспортного засобу (*Target Position*), швидкості руху (*Target Speeds*), прискорення/уповільнення (*Target Accelerations*), період спокою (*Target Stationary Times*) та час руху від останнього лічильника (*Target Times from Last Gate*).

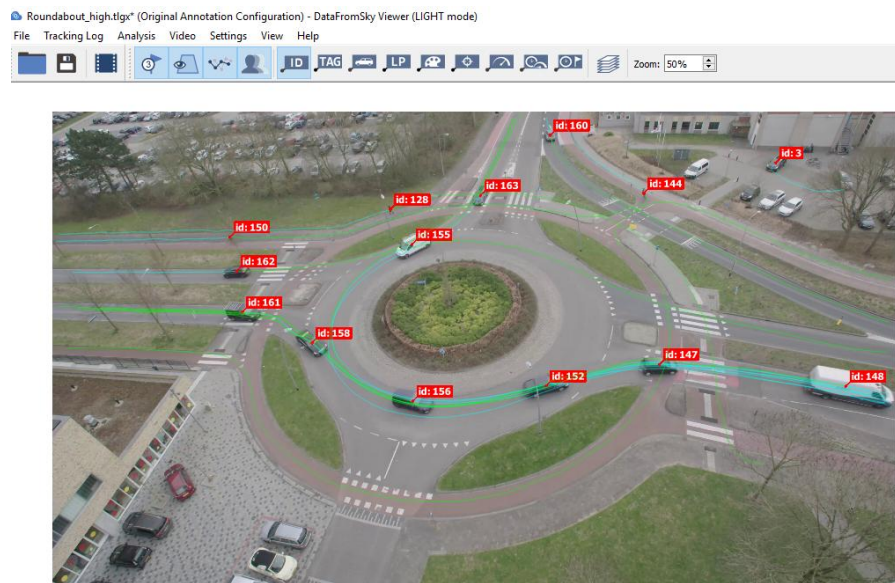


Рис.1.1. Вид робочого простору кільцевої розв'язки

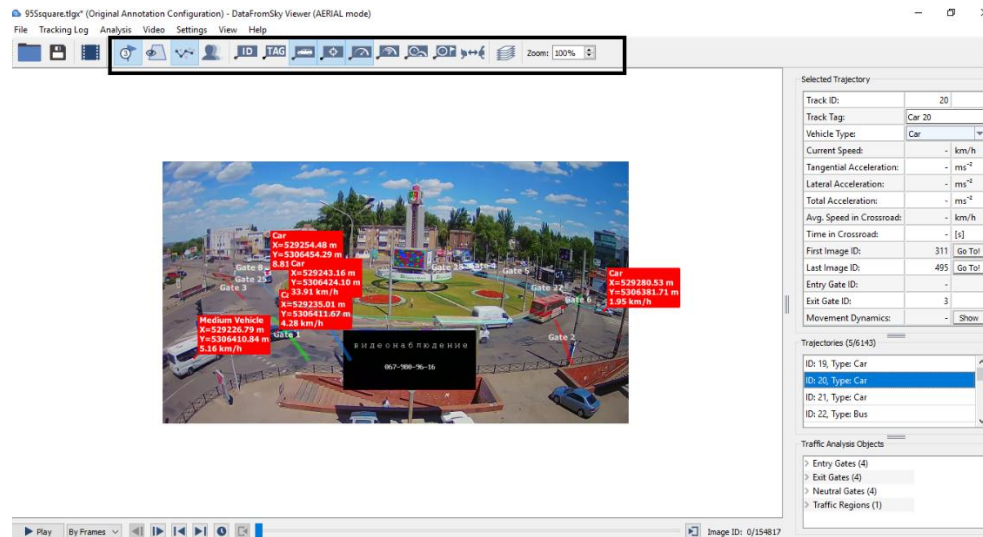


Рис.1.2. Головна панель інструментів (виділено чорним кольором)

1.2. Відстеження траєкторій учасників руху в DataFromSky

Кожен ТЗ має лінію траєкторії (яка може бути схована у випадку, якщо її не буде обрано) та позначення у формі червоного прапорця та ідентифікаційного номера (*ID*). Відстежуваний ТЗ може бути обраним шляхом натискання на даний прапорець.

Лінія траєкторії вказує на пройдений ТЗ шлях, та має два кольори, при цьому зелений колір являє собою вже пройдену частину траєкторії, а синій колір представляє частину траєкторії, яку потрібно пройти. Дане описання підходить до ситуації за замовчуванням. Певні елементи можуть бути змінено або налаштовано знову.

Список усіх траєкторій, які включає відеоролик, розташований у правій частині робочого простору програми у вікні «Траєкторії» (*Trajectories*). При цьому вид сцени та права колонка синхронізовані між собою. Натискаючи на прапорець ТЗ або обираючи відповідну траєкторію у вікні справа, відображається список атрибутів обраної траєкторії (*Selected Trajectory*).

У даному списку для кожного об'єкту відстеження доступна така інформація [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]:

ID об'єкта (*Track ID*) – унікальний ідентифікаційний номер об'єкту;

Тип транспортного засобу (*Vehicle Type*) – класифікаційна ознака ТЗ;

Поточна швидкість (Current Speed) – абсолютна величина вектору поточної швидкості руху ТЗ в одиницях виміру км/год. (після геореєстрації);

Повздовжнє прискорення (Tangential Acceleration) – поточне тангенціальне прискорення ТЗ в м/с^2 , позитивне значення відповідає прискоренню, негативне – уповільненню;

Бокове прискорення (Lateral Acceleration) – поточне бокове прискорення ТЗ в м/с^2 , позитивне значення відповідає прискоренню праворуч, негативне – прискоренню ліворуч;

Загальне прискорення (Total Acceleration) – абсолютна величина вектору миттєвого прискорення;

Сер. швидкість на перехресті (Average Speed in Crossroad) – середня швидкість ТЗ у районі перехрестя (між вхідним та вихідним лічильником) в км/год.;

Час на перехресті (Time in crossroad) – тривалість часу, який ТЗ проводить у районі перехрестя, виражений в с;

ID першого зображення (First image ID) – індекс зображення від початку руху ТЗ. Кнопка [Перейти!] дозволяє швидко переходити до цього моменту.

ID останнього зображення (Last image ID) – індекс зображення, на якому закінчується шлях ТЗ. Кнопка [Перейти!] дозволяє швидко переходити до цього моменту.

ID вхідного лічильника (Entry gate ID) – унікальний ідентифікаційний номер вхідного лічильнику, який перетинається ТЗ при в'їзді у зону перехрестя. Список лічильників для аналізу дорожнього руху включає всі доступні лічильники та відповідні дані. Лічильник розділено на три класи: вхідний, вихідний, нейтральний. Для кожного типу доступні такі дані:

ID вихідного лічильника (Exit gate ID) – унікальний ідентифікаційний номер вихідного лічильнику, який перетинається ТЗ при виїзді із зони перехрестя.

Динаміка руху (Movement dynamics) – показує графік швидкості та прискорення для кожної траєкторії.

1.3. Графік швидкості та прискорення транспортних засобів

Даний графік показує величину зміни швидкості та прискорення відстежуваного об'єкта. Внизу вікна з графіком можна обрати відповідний проміжок часу відео або пройдену відстань. Швидкість ТЗ показана на вертикальній осі зліва (зелена лінія), а прискорення – справа (голуба лінія для загального прискорення, помаранчева – для бокового, фіолетова – для тангенціального). Червона та зелена лінії на графіку показують момент, коли транспортний засіб перетнув вхідний та вихідний лічильник.

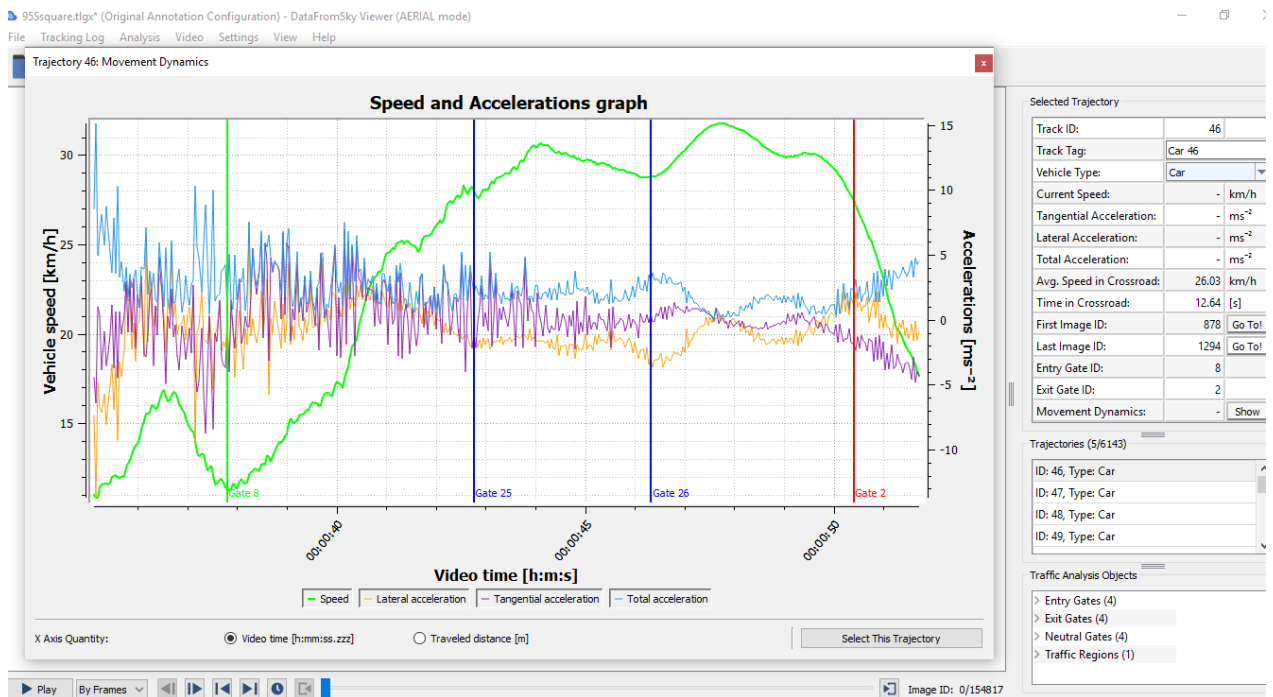


Рис.1.3. Графік швидкості та прискорення.

1.4. Візуалізація параметрів

При обранні на робочому просторі визивається меню «Показати позицію» (*Show position*) та «Додати ярлик» (*Add label*). Якщо обрана дана опція, з'явиться синій маркер, що показує положення обраної точки, лівий клік та перетягування дозволяє перемістити маркер над зображенням. Якщо

поставити кілька маркерів, з'являться рядки між ними для показу відстані між цими точками.

Якщо обрати опцію «Додати мітку», з'явиться відповідне вікно, якому є можливість ввести потрібний текст. Натиснувши лівою кнопкою миші, можна перетягнути мітку над зображенням. Якщо ви натиснете правою кнопкою миші на ярлику, тут з'явиться меню, яке дозволяє відредагувати або видалити ярлик.

Відстань цілі (*Target Distance*) є параметром, який дозволяє відображати відстань між окремими ТЗ, натиснувши правою кнопкою миші на транспортному засобі або позначки об'єктів (*Track Flags*), щоб вибрати цю опцію.

Для швидкого переміщення по відео, у нижній частині головного вікна доступний повзунок, схожий на програвача. Поточна позиція праворуч відображається як з точки зору відеокадрів (ID зображення), так і фізичного часу. Кнопка відтворення/паузи функціонує аналогічно програванню відео/аудіо.

Точне відтворення руху у часі може бути досягнуто за допомогою відео меню та пов'язаних з ним клавіатурних скорочень. Наступний/попередній елементи відеокадру дозволяють рухатись по кадрам.

Коли обрано відстежуваний ТЗ, параметр «*перейти до початкової та кінцевої реєстрації*» стає доступним шляхом використання відповідного меню, так як і параметр «*перейти до початку/кінця шляху відстеження*». Крім того, можна рухатись уперед та назад у часі за попередньо визначеною кількістю кадрів або часу. Дана функція виявляється корисною при додаванні та редагуванні траєкторій вручну.

Перегляд головного вікна, показане на (рис. 1.4), може бути налаштовано значною мірою за допомогою пунктів меню «Перегляд» (*View menu*).

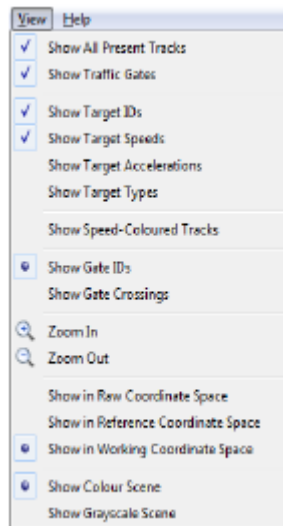


Рис.1.4. Меню перегляду та його зміст.

Показати всі наявні об'єкти (Show all present tracks) – якщо встановлено прапорець (за замовчуванням), всі об'єкти будуть видимими. Якщо це не встановлено, буде показана лише траєкторія поточно вибраного відстеження.

Показати лічильники дорожнього руху (Show traffic gates) – перемикає показ лічильників.

Показати ціль ... (Show target..) – ця група дозволяє налаштувати інформацію, яка буде відображатись як позначка над транспортним засобом, що відстежується. Якщо нічого із цього не вибрано, відображається лише крапка.

Показати кольорові треки швидкостей (Show speed-coloured tracks) – змінює відображення траєкторій так, щоб замість двох кольорів (до/після) колір відображає швидкість транспортного засобу. Швидкість перетворюється в колір за допомогою неофіційно-стандартного «струменевого» кольорового відображення.

Показати ID лічильника / показати перетин лічильника (Show gate IDs/ Show gate crossings) – ці параметри перемикаються, якщо на лічильнику відображається його ідентифікатор або кількість ТЗ, які його проходять.

Показати в (Show in...) – даний параметр дозволяє перемикнути координатний простір, а саме, системи координат, які з’являються на різних етапах процесу реєстрації відео.

Cipe (Raw) – після компенсації властивостей оптичної системи (камери);

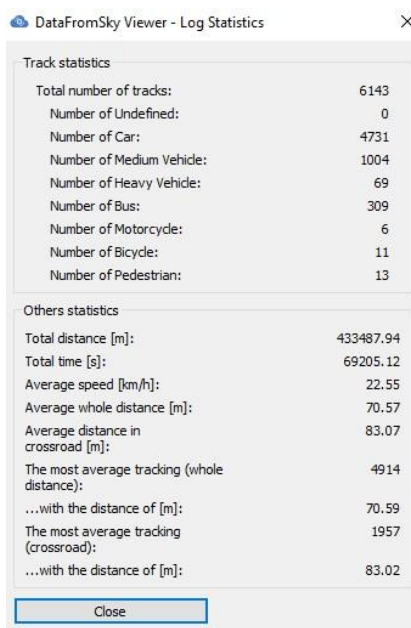
Посилання (Reference) – те саме, але після стабілізації;

Робоче (Working) – геореєстроване зображення, придатне для представлення у вигляді шару, що нагадує карту.

Показати кольоровий/ у відтінках сірого фон (Show colour / grayscale scene) – вибір відображення відео у кольорі або у відтінках сірого, що більше підходить як фон для різних кольорових маркерів (за замовчуванням).

Показати матрицю походження-призначення (Show Origin-Destination Matrix) – параметр доступний з меню «Файл», він показує матрицю походження-призначення для всього робочого простору. Значення можуть бути показані при різних видах нормалізації та експортується у файл CSV. Лічильники ідентифікуються за їх унікальними ідентифікаторами.

Показати статистику протоколу (Show log statistics) – доступна також у меню «Файл», відкриває вікно із загальною інформацією по всіх траєкторіях. Показники для «перехрестя» розглядають лише частину траєкторії між точками входу та виходу. Метрики для «цілого» враховують усі відомі траєкторії, навіть зовнішні по відношенню до лічильників.



Track statistics	
Total number of tracks:	6143
Number of Undefined:	0
Number of Car:	4731
Number of Medium Vehicle:	1004
Number of Heavy Vehicle:	69
Number of Bus:	309
Number of Motorcycle:	6
Number of Bicycle:	11
Number of Pedestrian:	13

Others statistics	
Total distance [m]:	433487.94
Total time [s]:	69205.12
Average speed [km/h]:	22.55
Average whole distance [m]:	70.57
Average distance in crossroad [m]:	83.07
The most average tracking (whole distance):	4914
...with the distance of [m]:	70.59
The most average tracking (crossroad):	1957
...with the distance of [m]:	83.02

Close

Рис.1.5. Вікно статистики протоколу відстеження.

РОЗДІЛ 2. КОНФІГУРАЦІЯ ПОЗНАЧЕНЬ В DATAFROMSKY

2.1. Редактор конфігурації позначень

В DataFromSky Viewer для створення лічильників, смуг та прихованих зон, областей руху та дії необхідно налаштувати конфігурацію відповідного позначення кадру (*Manage Annotation Configuration*). Спочатку з цією метою використовується вікно управління позначенням (*Annotation Configuration Manager*) на панелі головного меню у вкладці «Протокол трасування» (*Tracking Log*) [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Оригінальна конфігурація позначення (приміток) встановлена заздалегідь та її неможливо редагувати, тому при появі відповідного вікна, необхідно обрати кнопку «Клонувати» (*Clone*), що дозволить створити нову конфігурацію позначень кадру, статус якої обирається як «активний» (рис.2.1).

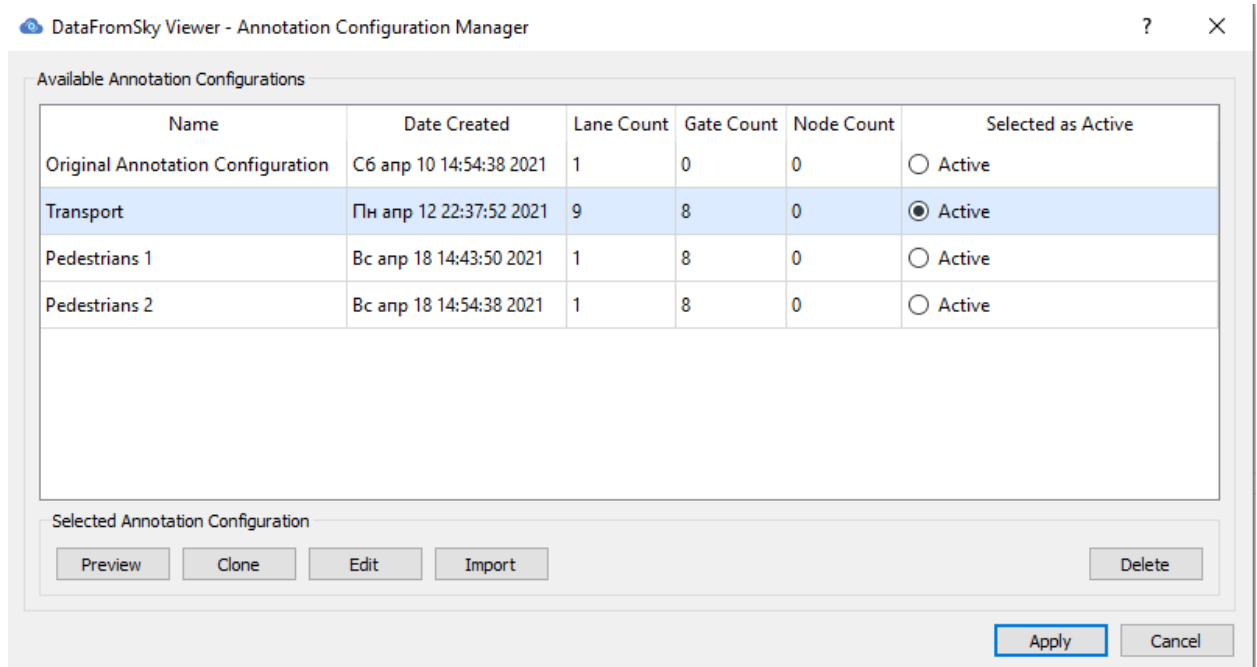


Рис.2.1. Редагування менеджера конфігурацій позначень

Натиснувши кнопку «редагувати» (*Edit*) можна переходити до ручного створення позначення кадру.

Потім відкриється редактор «Визначення позначень» (*Annotation Redefinition*), який дозволяє створювати нові примітки та редагувати маркування робочих областей кадру. Для збільшення масштабу основного зображення використовується колесо прокрутки миші.

При налаштуванні нових позначень важливо знати:

- безпосередньо у робочому просторі видимими є лічильники, області руху та області дії;
- вибрана примітка виділена у списку об'єктів позначень у правій частині робочого вікна, безпосередньо вище можна редагувати її властивості;
- існує можливість визначити віртуальні вузли вимірювання транспортного навантаження (доступно лише в режимі «AERIAL»), які

з'єднують різні інші примітки. Мають власний редактор збоку у правому нижньому куті.

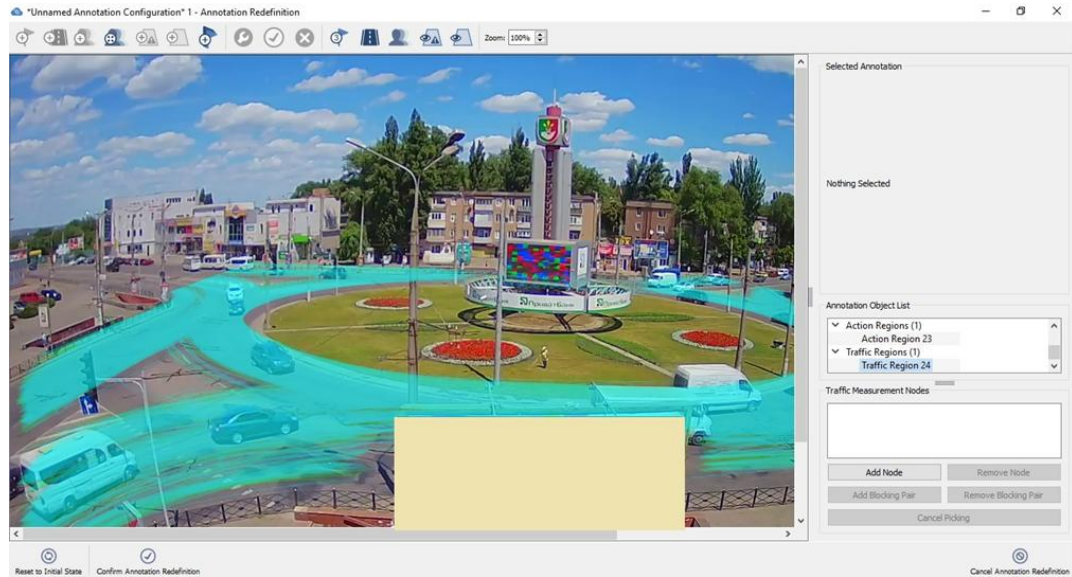


Рис.2.2. Визначення позначень

Після встановлення всіх необхідних позначень необхідно підтвердити «Редагування», натиснувши кнопку «Підтвердити визначення позначень» (*Confirm Annotation Redefinition*), розташовану в нижній частині редактора. Налаштування параметрів можна змінити до початкового стану або скасувати створення позначень. Коли вікно редактора закриється, натискається кнопку «Застосувати» (*Apply*).

2.2. Створення та редагування лічильників

Перша кнопка на головній панелі інструментів використовується для додавання лічильників, що представляють собою віртуальні лінії, які перетинаються автомобілями та іншими об'єктами відстеження. Вони мають форму лінії, що складається з прямих відрізків між з'єднувальними точками, тому для їх створення потрібно як мінімум дві точки. Для створення лічильників натисніть «Додати лічильник» (*Add Gate*) або правою мишкою у робочому просторі обирається «Додати лічильник». Потім можна створити принаймні дві точки, між якими може розташуватись лічильник,

перемістивши створену точку натисканням та перетягуванням миші. Точку можна видалити правою кнопкою миші та вибравши «Видалити контрольну точку» (*Remove Control Point*).

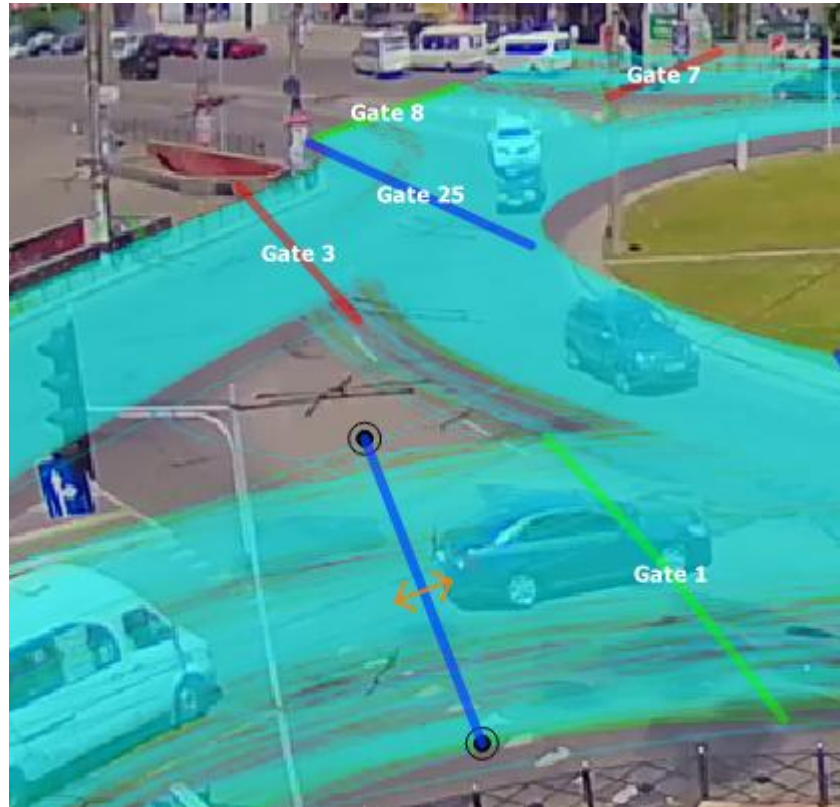


Рис.2.3. Додавання лічильника

Бажані властивості створеного лічильника можна встановити у правій колонці «Вибране позначення» (*Selected Annotation*).

- *Тип лічильника (Gate Type)* – необхідно встановити, вхідний, вихідний або нейтральний (*Entry, Exit, Neutral*) даний тип лічильника;
- *Напрямок лічильника (Gate Direction)* – встановлюється напрям, за якого відстежувані об'єкти (транспортні засоби) будуть підраховані даним лічильником;
- *Режим ідентифікації об'єкта (Object detection mode)* – встановлюється метод, за яким відстежується об'єкт, на основі записів траєкторій, або на візуальній ідентифікації;

- *Діапазон ідентифікації об'єкта (Object detection range)*– при виборі візуального детектора (*Visual Detector*) можливо обрати діапазон ідентифікації;
- *Кутова чутливість (Angular Sensitivity)* – налаштування чутливості лічильника залежить від кута, під яким ТЗ його проходить;
- *Дозволені об'єкти (Allowed Objects)* – одна із найважливіших властивостей лічильника, у разі вибору даної опції обирається тип ТЗ, проходження якого буде підраховано лічильником (невизначено, легковий автомобіль, автомобіль середнього класу, вантажний автомобіль тощо);
- *Дозволені кольори (Allowed Colours)* – тільки для режиму «LIGHT». Встановлюється, об'єкти якого кольору будуть підраховані у лічильнику.
- *Ярлик (Tag)* – поле, що використовується для встановлення ім'я лічильника.

При натисканні на «Завершити редагування» (*Finishing Editing*) на верхній панелі інструментів, лічильник буде створено відповідно до кількості призначених точок у робочому просторі.

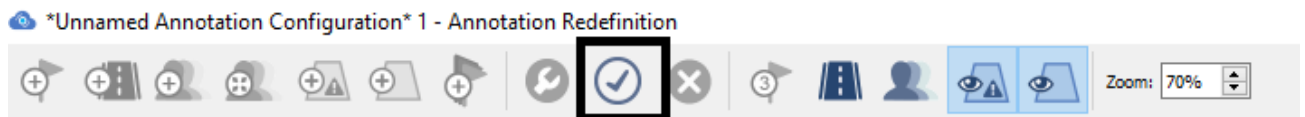


Рис.2.4. Завершення редагування лічильника

Якщо необхідно змінити властивості створеного лічильника або його перемістити, натискання на нього лівою кнопкою миші дозволить змінити його налаштування у стовпці «Вибране позначення», а також перемістити лічильник, натиснувши лівою кнопкою миші і перетягнувши його у робочому просторі. Якщо необхідно змінити розташування контрольних точок, обирається «Лічильник», натиснувши на потрібний лічильник, а потім на верхній панелі інструментів кнопку «Змінити позначення» (*Edit Annotation*), змінюється позиція або кількість точок лічильника. Для видалення даного лічильника у цілому використовується кнопка «Видалити позначення» (*Delete*

Annotation), або натисканням правою кнопкою миші на лічильник, щоб вибрати потрібний варіант.

Приклад кільцевої розв'язки із встановленими вхідними та вихідними лічильниками представлено на рис.2.5.

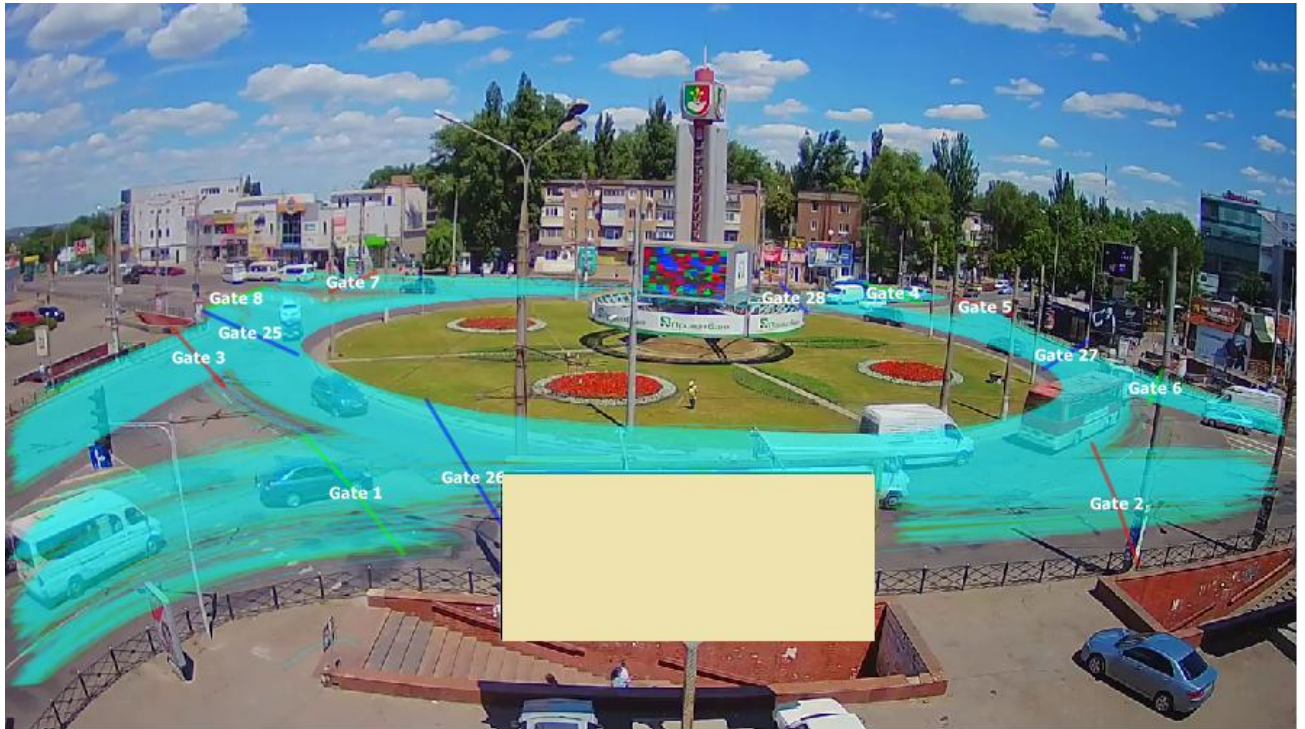


Рис.2.5. Кільцева розв'язка із встановленими лічильниками

2.3. Створення та редагування смуг

Смуги (*Lanes*) – це області, де можуть бути присутні ТЗ. Їх визначення схоже на процедуру додавання лічильників, маючи однакове кольорове кодування для вхідних, вихідних та нейтральних смуг. Маркування робочого простору у вигляді смуги відбувається натисканням кнопки «Додати смугу» (*Add Lane*), а потім додаванням відповідних точок, які утворюють полігональну межу смуги (рис.2.6). Даний полігон завжди закритий, його можна відобразити лише після додавання мінімум трьох точок. Смуга повинна охоплювати всю необхідну область, бажано убик її розповсюдження, а не скорочення. В ідеалі виконується невелике перекриття смуг, що не залишає місця між смугами. Вже розміщені точки можна переміщувати, перетягуючи та видаляючи, натиснувши правою кнопкою миші та обравши «Видалити

2.4. Створення та редагування області анонімізації

Область анонімізації (*Anonymization Region*) використовується для приховування певної області у вікні робочого простору, вона встановлюється у той самий спосіб, що і смуги, при цьому можна призначити «Ступінь розмиття» (*Degree of blur*) у стовпці «Вибране позначення» (*Selected Annotation*). Більше налаштувань для області анонімізації доступне з кнопки «Показати області анонімізації» (*Show Anonymization regions*).

«Приховати все поза поточним видом» (рис. 2.8) (*Anonymize everything outside current view*). Обравши дану опцію, можна приховати/затінити все, крім поточного перегляду. Оскільки позначення вже визначені у робочому просторі, при виборі опції ««Приховати все поза поточним видом», функція перегляду виглядає так само як в робочій області, однак при переході на базовий/нерозмічений простір (*Reference / Raw space*) частини зображення, які не знаходяться в робочій області, потім розмиваються.

Для спрощення процедури приховування частин робочого простору виконуються такі кроки:

- відкривається протокол трасування;
- перегляд переключається на робочий простір;
- відкривається вікно управління конфігурацією позначень;
- встановлюється область, яку необхідно приховати/затінити;
- обирається опція «Приховайте все поза поточним видом»;
- підтверджуються виконані дії;
- перегляд перемикається до базового/нерозміченого простору для перевірки видимості прихованих областей, які повинні бути видимими у даному режимі, при цьому необхідно, щоб на панелі інструментів була обрана опція «Показати області анонімізації».

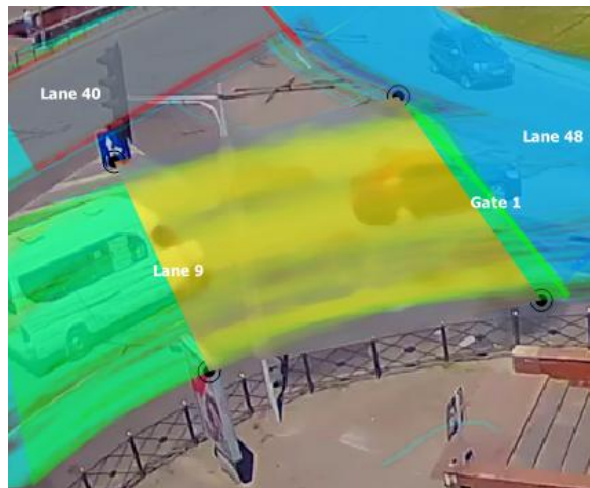


Рис.2.8. Область анонімізації



Рис.2.9. Кнопка «Приховати все поза поточним видом»

2.5. Створення та редагування області дії

Області дії (*Action region*) використовуються для виявлення присутності та перевищення швидкості об'єктів на певній ділянці робочого простору. Для створення області дії, необхідно обрати «Додати область дії» (*Add Action Region*) або натиснути правою кнопкою миші на робочому просторі та обрати відповідний пункт меню, що спливає. Таким чином, область дії створюється аналогічно створенню смуг.



Рис.2.10. Редагування області дії

У налаштуваннях обраного позначення (*Selected Annotation*) можна спостерігати такі властивості та дані про область дії:

- *Тип позначення (Annotation Type)* – поточний обраний тип позначення.
- *Ідентифікаційний номер області (Region ID)* – номер обраного позначення.
- *Попередження про присутність (Presence Alert)* – увімкнене попередження про присутність об'єкта відстеження. Можна обирати типи об'єктів (*Select Object Types*), для яких буде відображатись повідомлення про присутність. Якщо потрібний тип об'єкта увійде до області дії, відобразиться попередження та дана область буде підсвічена, як показано на рис.2.11.
- *Сповіщення про перевищення швидкості (Speeding Alert)* – якщо ТЗ перевищитиме встановлену швидкість, у робочому просторі відобразиться сигнал про перевищення швидкості, кольором виділиться область дії, де відбулася дана подія, а величина перевищення швидкості відобразиться у ярлику над об'єктом.
- *Виберіть максимальну швидкість (Select Max. Speeds)* – можна встановити максимальну швидкість для окремих об'єктів.
- *Виберіть Кольори об'єктів (Select Object Colours)* – функція доступна лише в режимі «LIGHT».

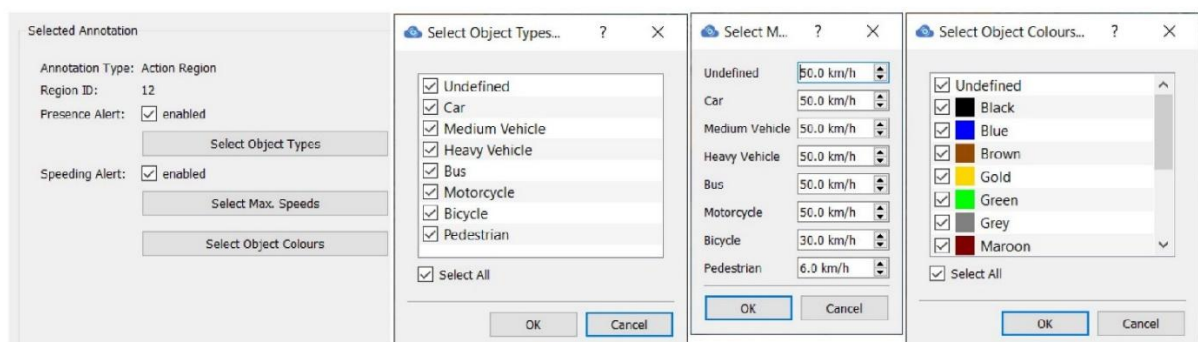


Рис.2.11. Налаштування області дії

2.6. Створення та редагування області дорожнього руху

Позначення «Область дорожнього руху» (*Traffic region*) працює подібно лічильникам, однак встановлюється аналогічно смугам. Використовується для визначення нерухомого ТЗ у конкретній області робочого простору. При наближенні до перехрестя частина ТЗ не зупиняється повністю, а повільно рухаються. Вони не враховуються як нерухомі об'єкти. Для показу області дорожнього руху у робочому просторі використовується відповідна кнопка на головній панелі інструментів.

В налаштуваннях «Вибране позначення» (*Selected Annotation*) представлені наступні відомості:

- *Тип позначення (Annotation Type)* – поточний обраний тип позначення.
- *Ідентифікаційний номер області (Region ID)* – номер обраного позначення.
- *Ярлик (Tag)* – дозволяє змінювати назву області дорожнього руху.
- *Дозволені типи (Allowed Types)* – встановлюються типи об'єктів, які ідентифікуються областю дорожнього руху.
- *Дозволені кольори (Allowed Colours)* – тільки для режиму «LIGHT». Визначаються ті кольори об'єктів, які ідентифікуються областю дорожнього руху.
- *Максимальна швидкість стаціонарного об'єкту (Max. Stationary Vehicle Speed)* – встановлює максимальну швидкість, за якої ТЗ вважається стаціонарним.
- *Мінімальний відрізок часу знаходження об'єкту у стаціонарному стані (Min. Stationary Vehicle Speed)* – встановлює, наскільки довго швидкість ТЗ повинна бути нижче *Максимальної швидкості стаціонарного об'єкту*, щоб об'єкт вважався нерухомим.

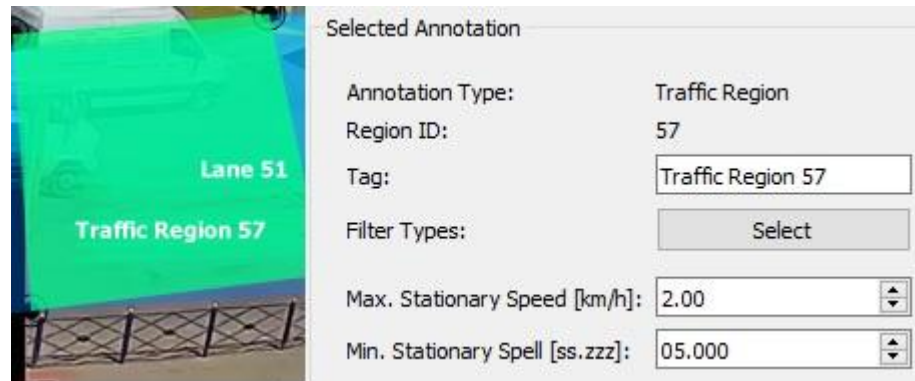


Рис.2.12. Область дорожнього руху

2.7. Створення та редагування вимірювального вузла

Редагування вимірювального вузла (*Measurement Node*) доступне лише у режимі «AERIAL». Вимірювальний вузол необхідний для розрахунку величин «Часового інтервалу» (*Gap Time*) та «Часу до слідування» (*Time to Follow*), які є набули широкого використання для розрахунку пропускну здатності перехрестя.

«Часовий інтервал» (Tg) – представляє собою екстремальний проміжок часу між двома послідовними автомобілями на другорядній (головній) смузі (дорозі), який визначає можливість автомобілю з другорядної дороги виїхати/приєднатись до перехрестя та вписатись у розрив транспортного потоку, що виник. У випадку, якщо різниця у часі між двома автомобілями, що рухаються послідовно, буде більшою за дану екстремальну величину, автомобіль, який очікує на другорядній дорозі (у середньому) зможе виїхати на перехрестя. Якщо описувана різниця буде меншою за критичну величину Tg (у середньому), автомобіль, що очікує, не зможе увійти до перехрестя.

«Часу до слідування» (Tf) – представляє собою середню різницю між двома послідовними автомобілями на другорядній смузі, які входять до перехрестя після очікування. Даний час вимірюється на вході до перехрестя.

Дані показники можна використовувати для детальної оцінки фактичної пропускну спроможності конкретного перехрестя. Сучасні підходи передбачають загальне наближення отриманих показників на основі табличних значень з урахуванням типу перехрестя та параметрів його

геометрії. Однак вони можуть бути неточними/неправильними через різні фактори впливу (поле зору, тип дорожнього покриття, знаки організації руху, тощо). Резюмуючи, виробником програмного забезпечення DataFromSky стверджується, що дані, які отримані на основі екстракції траєкторій за допомогою серверу DataFromSky та подальшого аналізу протоколу трасування у програмі DataFromSky Viewer, набувають застосування саме для кращої оцінки потоків дорожнього руху та поведінки водія для конкретних дорожніх умов.

Для того, щоб мати змогу експортувати інформацію про заключну обробку даних, необхідно виконати такі вимоги:

- Робочий простір повинен бути належним чином оброблений у менеджері позначень.
- Кожна вхідна точка на перехресті, яку необхідно проаналізувати, повинна бути додатково позначена вузлом вимірювання руху (*Traffic Measurement Node*).

Вузол вимірювання руху складається з пари «лічильник очікування (*Waiting Gate*) – смуга очікування (*Waiting Lane*)» та непустилого списку пар «лічильник блокування (*Blocking Gate*) – смуга блокування (*Blocking Lane*)».

- Лічильник очікування слід розміщати на вході другорядної смуги по відношенню до головної смуги. Автомобілі, що очікують, повинні проходити даний лічильник при виїзді на перехрестя.

- Смуга очікування – це смуга, на якій автомобілі очікують на звільнення головної смуги від транспорту, достатнього для виїзду на перехрестя. Покриває всю поверхню дороги (робочого простору), де можливе очікування автомобілів.

- Смуга блокування – поверхня головної смуги. У випадку наявності декількох головних смуг, кожна з них необхідно позначити окремо для того, щоб кожна смуга стала частиною відповідної блокуючої пари. Для кожної смуги блокування повинен бути призначений лічильник блокування.

- Лічильник блокування – лічильник, що визначає подію блокування потоку, що служить інструментом аналізу часового інтервалу та затору на головній смузі.

- Дорожні умови повинні характеризуватись достатністю транспортних затримок для автомобілів, що очікують. У разі відсутності автомобілів, що очікують, програма не зможе визначити показники Tg та Tf .

Спочатку необхідно правильно позначити робочий простір. На прикладі, представленому на рис.2.13, парами очікування є лічильник 8 та смуга 46, а парами блокування – лічильник 25 та смуга 47.

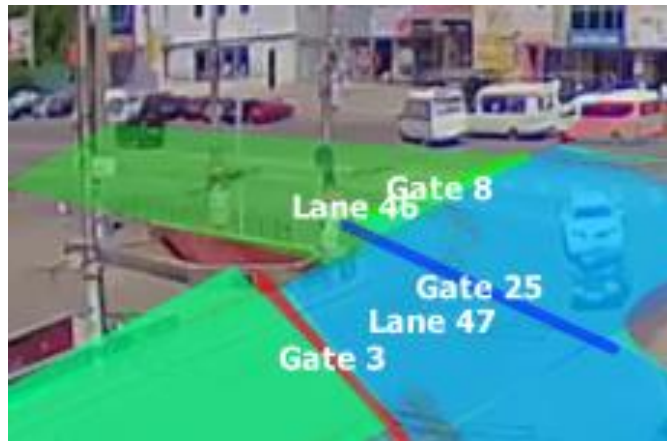


Рис.2.13. Приклад вимірювального вузла

Далі потрібно встановити блокування та очікування пар за допомогою вимірювального вузла, натиснувши на кнопку «Додати вузол» (*Add Node*), яку можна знайти внизу правого стовпця. Потім потрібно вказати пару «Блокування-Очікування» (*Blocking and Waiting Pairs*), що можна зробити, натиснувши кнопку вибору та вибравши відповідне позначення. Можливо також видалити вузол або пару блокування.

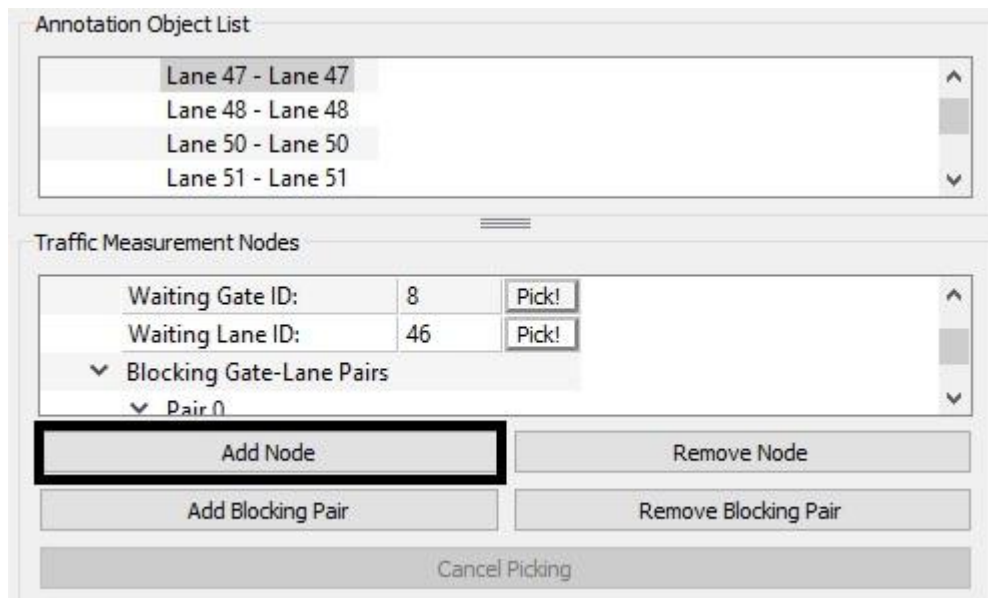


Рис.2.14. Додавання вимірювального вузла

2.8. Визначення помилки зміщення координат

Функція доступна лише для режиму «AERIAL», використовується для виправлення помилки проекції координат або для зміщення траєкторій.

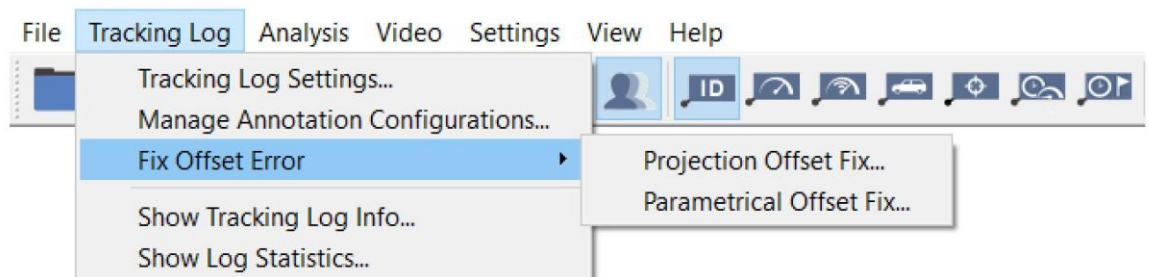


Рис.2.15. Меню протоколу трасування

Виправлення зміщення проекції використовується для виправлення помилки проекції, наприклад, якщо траєкторії на зображенні знаходяться на капоті транспортного засобу, ця функція переміщує траєкторії до опорної поверхні відповідно до заданої висоти об'єкта. Якщо необхідно винести цю корекцію лише для однієї траєкторії, спочатку виконується її позначення на робочому просторі.

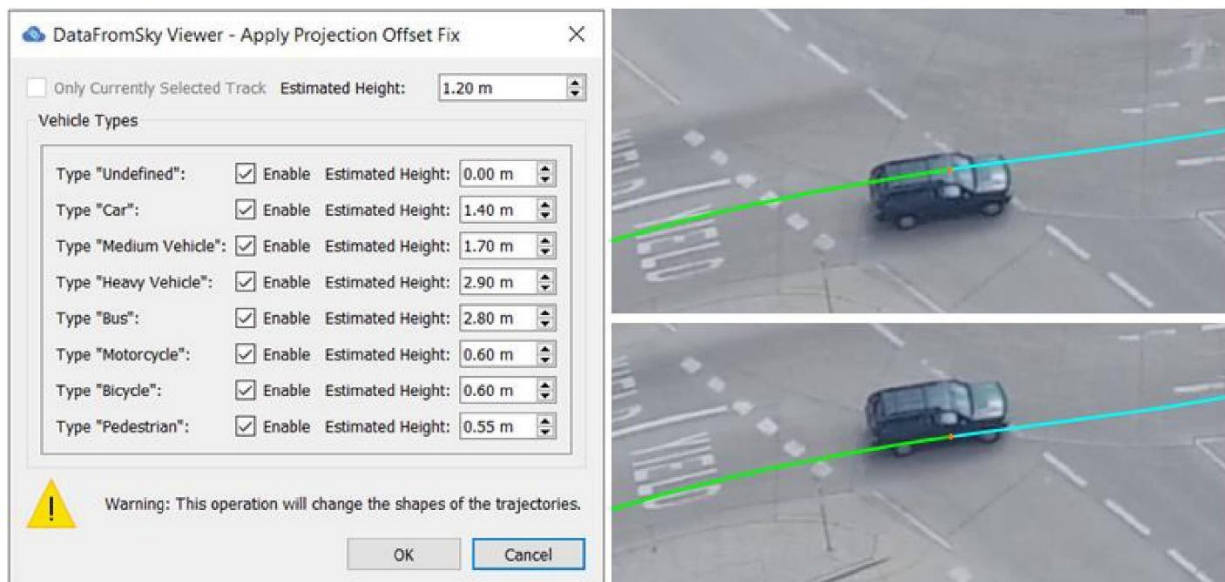


Рис.2.16. Вікно виправлення зміщення проєкції траєкторії

Визначення параметричного зміщення використовується для зміщення траєкторій. Параметричне зміщення налаштовується для задавання параметрів на основі таких рівнянь:

$$x' = x + cx0 + (cxx \cdot x) + (cxy \cdot y),$$

$$y' = y + cy0 + (cux \cdot x) + (cuy \cdot y)$$

де (x, y) – координати траєкторії, (x', y') – координати після виправлення.

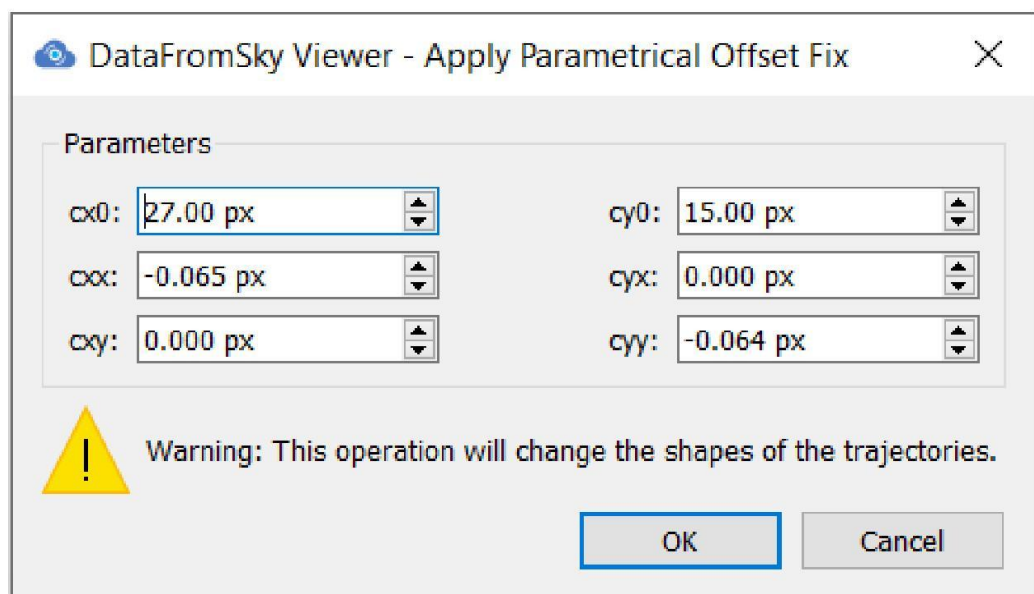


Рис.2.17. Вікно визначення параметричного зміщення

РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЯ АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНОЇ РОЗВ'ЯЗКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ DATAFROMSKY

3.1. Загальні відомості

Важливими функціями DataFromSky Viewer є експорт аналізу дорожнього руху. Переліком властивостей даного інструменту є:

- 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*);
- експорт графіків потоку «зародження-призначення» (*Origin-Destination Flow Graphs*);
- розрахунок статистичних параметрів інтервалів часу між двома послідовними ТЗ у потоці (*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*)).

3.2. Геореєстрація відеокадру

Геореєстрація є прив'язкою відеокадру робочого простору до ортогональних географічних координат. Для цього знаходиться щонайменше 4 характерні точки, які прив'язуються до нерухомих об'єктів на карті, що чітко розпізнаються з карт, отриманих зі супутника (рис.3.1). Для обраних точок встановлюються координати відповідно до Google Maps, що прив'язує кадр робочого простору до реальних географічних координат та дозволяє програмі визначати показники дорожнього руху та окремих об'єктів відстеження у фізичних величинах системи СІ. Приклад ділянки вулично-дорожньої мережі, для якої проведена процедура геореєстрації, представлено на рис.3.1. Зауважимо, що величини широти та довготи для кожної точки вводяться вручну.

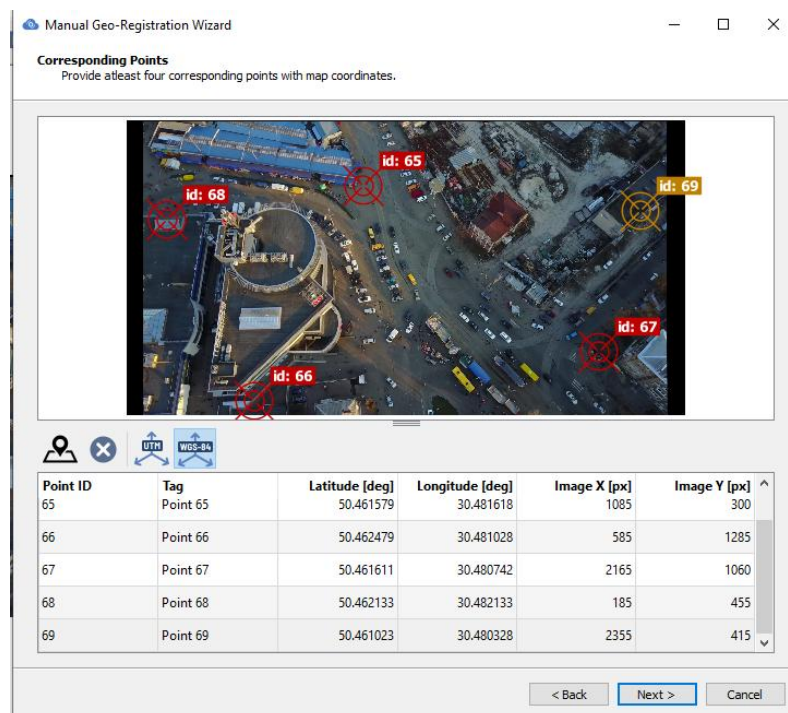


Рис.3.1. Геореєстрація відеокадру

3.3. Динаміка дорожнього руху

Екстракція траєкторій руху транспортних засобів у форматі файлу CSV проводиться за допомогою блоку “Analysis – Export Trajectories to CSV file”. За отриманими можна побудувати графік швидкостей руху

(км/год.)/пройдених відстаней (м) для кожного об'єкта/цілі. Для розглядуваного прикладу (кільце 95-го кварталу, місто Кривий Ріг) на основі отриманої статистики траєкторій побудовано графік швидкостей для кожного об'єкта відстеження (рис.3.2).

Середня швидкість руху становить 25 км/год із стандартним відхиленням у 7,1 км/год. Більшість випадків знаходиться у діапазоні від 10 до 40 км/год.

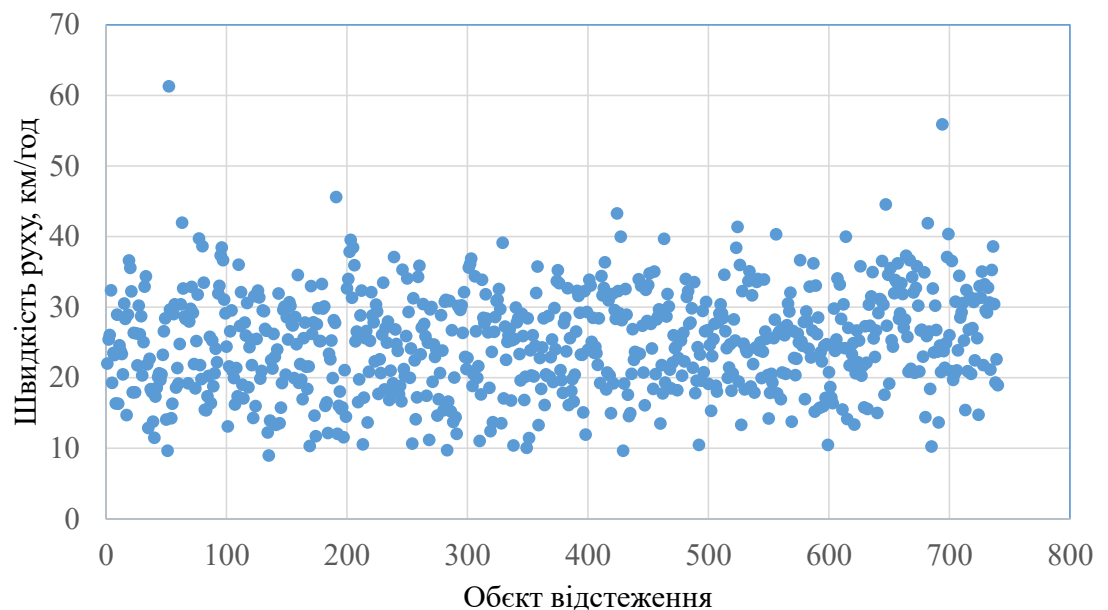


Рис.3.2. Графік швидкостей руху об'єктів відстеження

Як видно з рис.3.3, пройдені відстані об'єктами відстеження можна розділити на три групи: в межах 25-30 м, 100-120 м, 150 – 200 м. Більшість випадків знаходиться у діапазоні від 100 до 120 м. Середня пройдена відстань складає 83 м зі стандартним відхиленням у 55,7 м.

Статистика для показників середніх значень тангенціальних та бокових прискорень/уповільнень отримується аналогічно. Параметри траєкторій руху такі як, кількість об'єктів на маршруті, середня швидкість руху, середнє прискорення/уповільнення агрегуються також відповідно до лічильників.

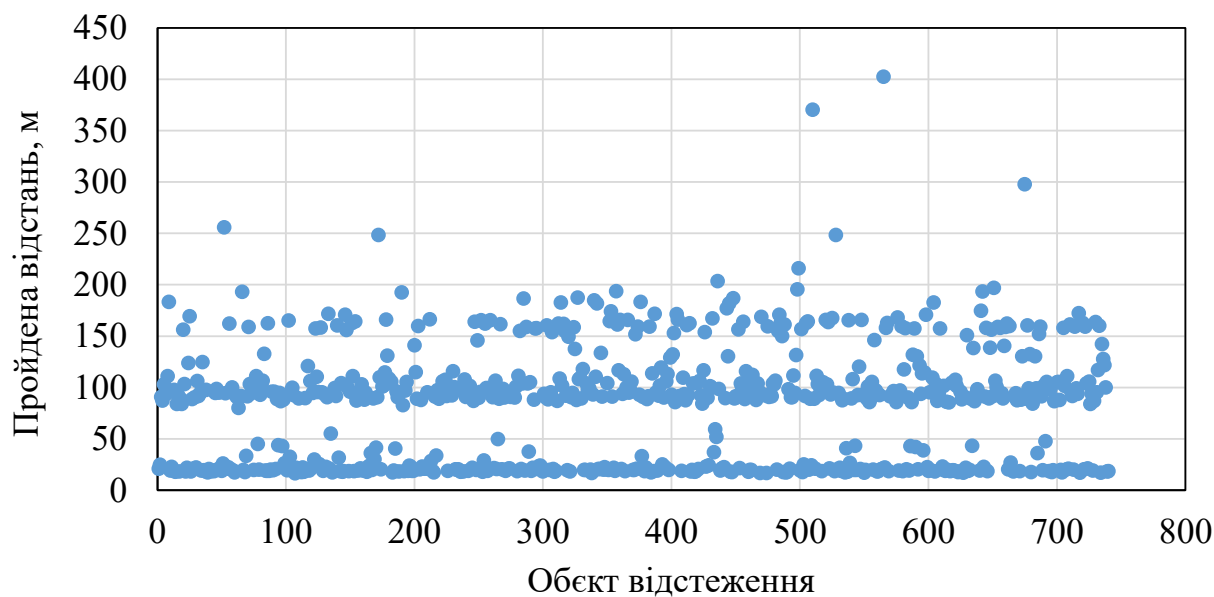


Рис.3.3. Графік пройдених відстаней об'єктів відстеження

По кожній одиниці об'єкта відстеження можлива екстракція залежностей швидкості та прискорення за проміжок часу відеоспостереження на одному графіку. Обираючи траєкторію автобуса під номером 81, отримуємо динаміку руху для цієї траєкторії у вигляді відповідного графа (рис.3.4).

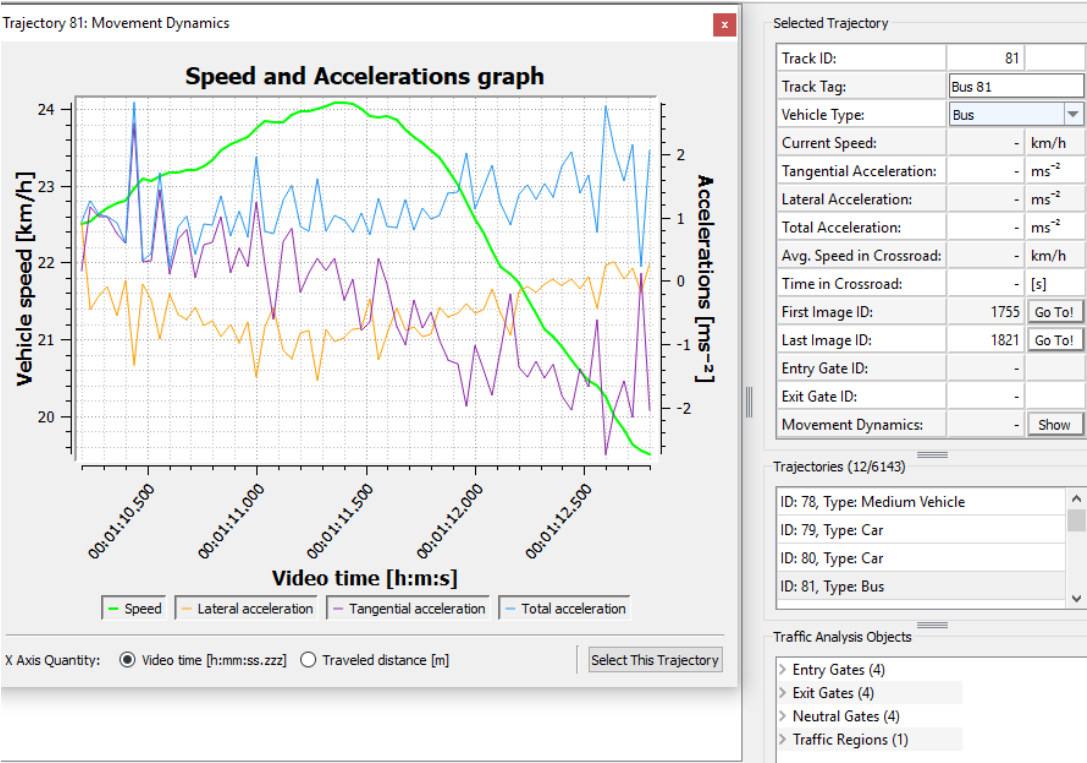


Рис.3.4. Залежності швидкості-прискорення для транспортної одиниці

3.4. Матриці зародження-призначення транспортних потоків

Матриця зародження-призначення (OD) показує основні параметри конкретного маршруту від вхідного до вихідного лічильника (кількість транспортних засобів, середній час їздки, мінімальний та максимальний час, стандартне відхилення). За матрицями зародження-призначення можливо визначити середньо годинні інтенсивності транспортних потоків за напрямками, які потребують особливої уваги.

Для експорту OD-матриць необхідно увійти до меню аналізу та обрати «показати статистику зародження-призначення» після чого з'явиться відповідне меню (рис.3.5).

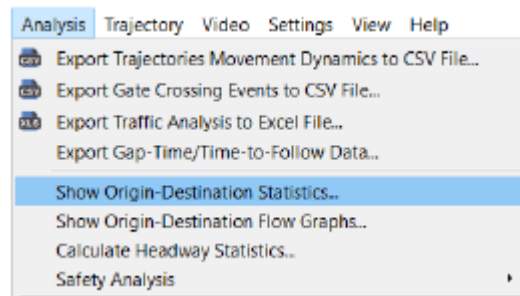


Рис.3.5. Показати статистику зародження-призначення

Для отриманої OD-матриці мається можливість обрати параметри, що задовільняють користувача:

- перевірочний блок «Вся послідовність відео» (*Whole video sequence*)
- обравши цю опцію, можна вибрати конкретну частину відео, встановивши конкретний час або ідентифікатор зображення (ID), що дозволить отримати статистику для конкретної частини відео;
- в меню «Типи», можна вибрати об'єкти, для яких потрібно виконати статистику;
- у статистиці матриці (*Statistics Matrix*) можна обрати, які дані необхідно експортувати, а саме: підрахунок ТЗ (*Vehicles count*) або середній час (*Average Time*).

Для першої опції існують додаткові функції:

- Тип нормалізації (*Normalisation Type*)

- *Показати підрахунки (без нормалізації) (Show Counts (no normalisation))* – в матриці показується загальна кількість об'єктів від кожного вхідного до кожного вихідного лічильника;

- *Ділити на максимальне значення (Divide by maximum value)* – числа в матриці вказують на відношення між максимальною кількістю об'єктів на однієї з пар лічильників і кількістю об'єктів, які пройшли через дану пару лічильників;

- *Розділити на суму значень (Divide by sum of values)* – числа в матриці вказують на відношення між загальною кількістю об'єктів і кількістю об'єктів, які пройшли через дану пару лічильників.

Ці параметри мають додаткові властивості:

- *По всій матриці (Across whole matrix)* – у цьому випадку відношення буде застосовано до цілої матриці.

- *Для кожного вхідного лічильника (For each Entry gate)* – у цьому випадку співвідношення буде застосоване до кожного вхідного лічильника окремо;

- *Для кожного вихідного лічильника (For each Exit gate)* – у цьому випадку співвідношення буде застосоване до кожного вихідного лічильника окремо.

Друга опція (*Average Time*) означає середній час руху між вхідним та вихідним лічильником.

Інші показники часу будуть представлені іншими параметрами, такими як Мінімальний час (*Minimal Time*), Максимальний час (*Maximal Time*), Середній час (*Median Time*) та Стандартне відхилення (*Standard Deviation*).

Як видно з рис.3.6, для прикладу, що розглядається (кільце 95-кварталу), найбільшою інтенсивністю характеризується маршрути від вхідного лічильника 8 (*Entry Gate 8*) до вихідного лічильника під номером 2 (*Exit Gate 2*) – від вулиці Волгоградської до проспекту Металургів, а також до вихідного 3 (*Exit Gate 3*) – те ж, до проспекту Миру) та 5 (*Exit Gate 5*) – те ж, до проспекту Гагаріна.

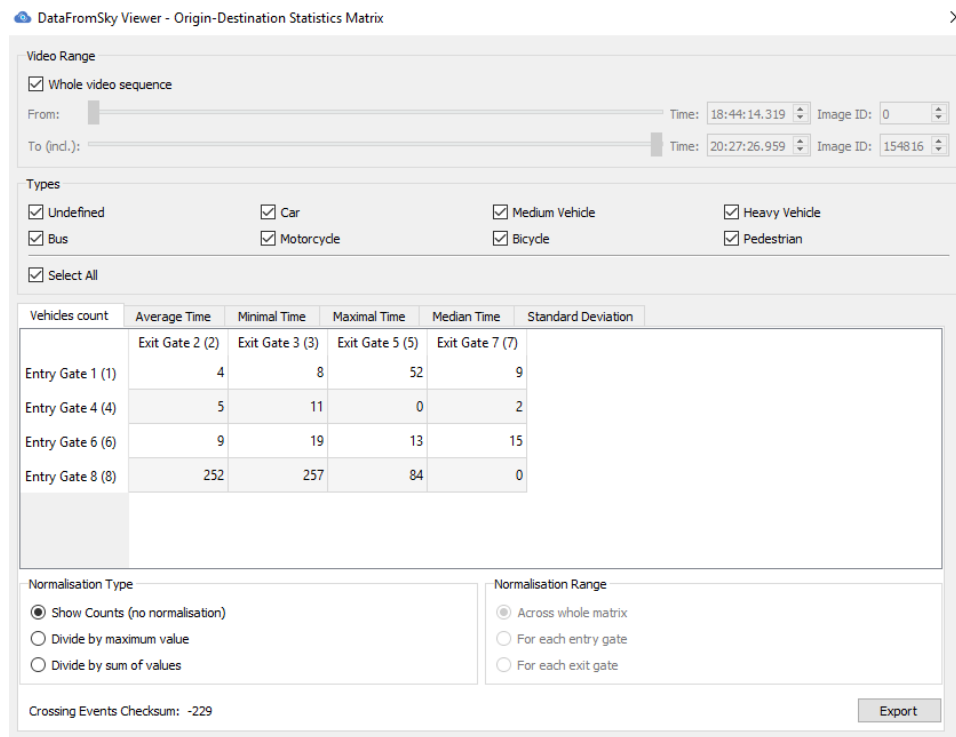


Рис.3.6. Матриця зародження-призначення за кількістю ТЗ на маршруті, одиниць

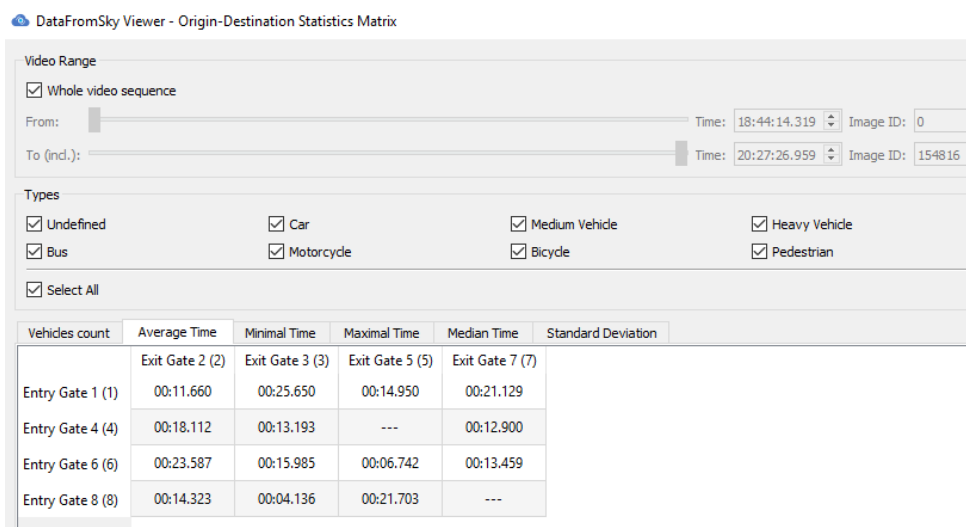


Рис.3.7. Матриця зародження-призначення за середнім часом руху, с.

За середнім часом руху на маршруті виділяються маршрути:

- від вхідного лічильника 6 (*Entry Gate 6*) до вихідного лічильника під номером 2 (*Exit Gate 2*) – розворот по кільцю з проспекту Металургів;
- від вхідного лічильника 8 (*Entry Gate 6*) до вихідного лічильника під номером 5 (*Exit Gate 5*) – з вулиці Волгоградської до проспекту Гагаріна;
- від вхідного лічильника 1 (*Entry Gate 1*) до вихідного 3 (*Exit Gate 3*) – розворот по кільцю з проспекту Миру;

- від вхідного лічильника 1 (*Entry Gate 1*) до вихідного 7 (*Exit Gate 7*)
- рух з проспекту Миру до вулиці Волгоградської.

Таким чином, за матрицями зародження-призначення можемо бачити, що час руху транспортних засобів на маршруті, перед усім, визначається довжиною даного маршруту, а не кількістю автомобілів, що його проходять. Залежність між інтенсивністю потоку та часу руху на маршруті не є однозначною та стійкою.

Також, як показано вище, програма дозволяє побудувати матрицю зародження-призначення у питомих одиницях, де основним показником виступає відношення поточної кількості об'єктів на маршруті до максимальної кількості за час відеоспостережень.

Іншим показником матриці може виступати відношення поточної кількості об'єктів на маршруті до їх загальної кількості за час спостережень.

Vehicles count	Average Time	Minimal Time	Maximal Time	Median Time	Standard Deviation
	Exit Gate 2 (2)	Exit Gate 3 (3)	Exit Gate 5 (5)	Exit Gate 7 (7)	
Entry Gate 1 (1)	0.0155642	0.0311284	0.202335	0.0350195	
Entry Gate 4 (4)	0.0194553	0.0428016	0	0.0077821	
Entry Gate 6 (6)	0.0350195	0.07393	0.0505837	0.0583658	
Entry Gate 8 (8)	0.980545	1	0.326848	0	

Normalisation Type ☐ Show Counts (no normalisation) ☒ Divide by maximum value ☐ Divide by sum of values	Normalisation Range ☒ Across whole matrix ☐ For each entry gate ☐ For each exit gate
--	---

Crossing Events Checksum: -229 Export

Рис.3.8. Матриця зародження-призначення за відношенням поточної кількості об'єктів на маршруті до максимальної

Специфікація конкретних маршрутів із виділенням всіх параметрів траєкторії руху (кількість підрахованих об'єктів, середній час проходження та ін.), які характеризуються у нашому випадку максимальними транспортними навантаженнями, із їх кольоровим маркуванням на сцені представлена на рис. 3.9.

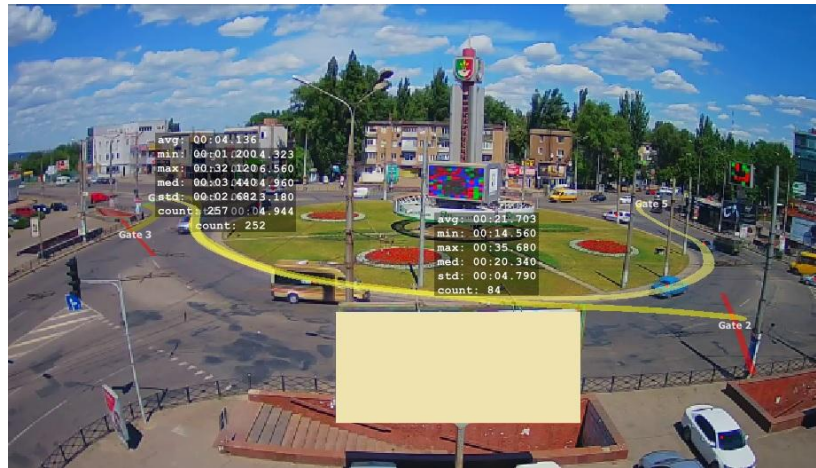


Рис. 3.9. Візуалізація параметрів траєкторій руху об'єктів для найбільш навантажених маршрутів

Для матриць зародження-призначення доступна функція графіків потоку, яка показує загальну кількість об'єктів, що рухаються між відповідними лічильниками.

Відповідно до матриць зародження-призначення створено графіки потоків, у тому числі, для тих маршрутів, які мають більшу у порівнянні з іншими інтенсивність руху автотранспорту (від вхідного лічильника 8 (*Entry Gate 8*) до вихідного лічильника під номером 2 (*Exit Gate 2*), а також до вихідного 3 (*Exit Gate 3*)). Слід зауважити, що графіки потоків включають також й пішохідний рух (рис.3.10).

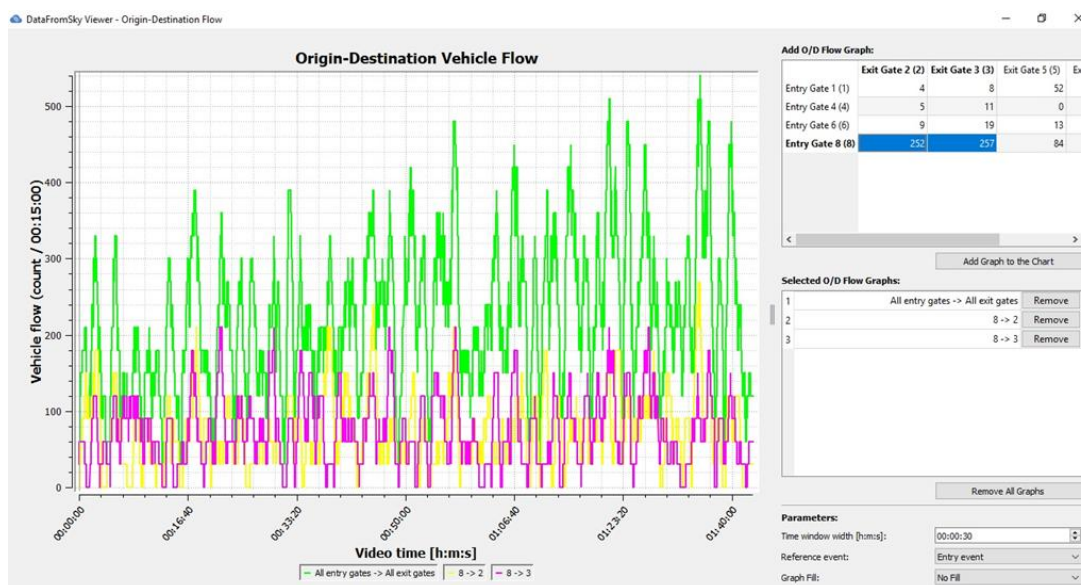


Рис.3.10. Графіки потоків на всіх (зелена лінія) та на двох найбільш навантажених маршрутах

3.5. Розрахунок інтервалів часу між двома послідовними транспортними засобами

Дана функція створює статистичний звіт по інтервалам часу між двома послідовними транспортними засобами (*Headway Statistics Report*). Розрахунок проводиться у той самий спосіб, що і аналіз дорожнього руху через встановлені лічильники, але в цьому випадку відображаються лише підсумкові значення.

Налаштування максимального проміжку часу між двома автомобілями, що сліднують один за одним, використовується для виділення якомога довгих періодів і отримання більш точних значень вихідних величин (рис.3.11).

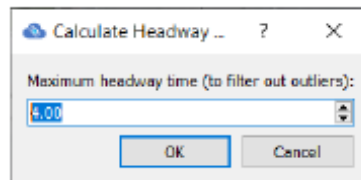


Рис.3.11. Максимальний проміжок часу між автомобілями, що сліднують послідовно один за одним

Для окремих подій проходження маршруту через лічильник можна скористатись статистичними параметрами, представленими у вкладці «Детальна інформація» (*Detailed Info*) по кожному лічильнику або функцією «Експортувати події проходження крізь лічильник» (*Export Gate Crossing Events*) до файлу формату CSV.

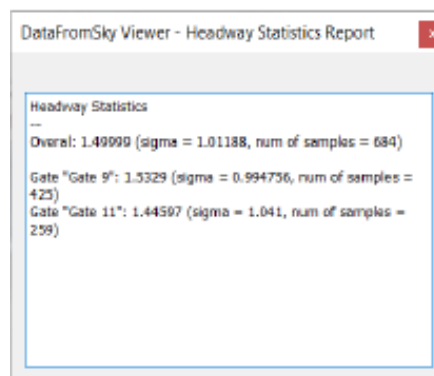


Рис.3.12. Статистичний звіт по інтервалам часу між двома послідовними ТЗ

У статистичному звіті по інтервалам часу між послідовними транспортними засобами представлені такі показники:

- *Загальне (Overall)* – значення середнього інтервалу між двома послідовними автомобілями
- *Відхилення (Sigma)* – стандартне відхилення цього значення.
- *Кількість випадків (Num of samples)* – кількість подій проходження лічильників, використаних для розрахунку.

3.6. Аналіз безпеки дорожнього руху

Аналіз безпеки дорожнього руху (*Safety Analysis*) використовується для створення списку конфліктів (*Conflict List*), який можна експортувати для подальшої обробки. Виявлені конфлікти позначаються у робочому просторі. Аналіз безпеки руху можна знайти в меню аналізу (*Analysis Menu*).

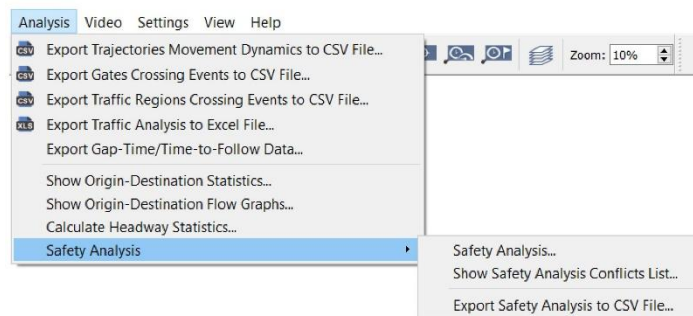


Рис.3.13. Виклик меню аналізу безпеки руху

Спочатку необхідно встановити параметри аналізу безпеки, для чого обирається відповідне меню. З'явиться вікно з двома вкладками. На вкладці «Параметри аналізу» (*Analysis Parameters*) можна знайти:

При налаштуванні діапазону відео (*Video Range*), знявши прапорець «Вся послідовність відео» (*Whole video sequence*), можна вибрати конкретну частину відео, встановивши конкретний час або ідентифікатор зображення, для яких буде створена статистика безпеки руху.

У налаштуваннях «Типи» (*Types*) можна встановити, для яких типів об'єктів буде обчислюватися статистика безпеки руху.

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

- *Вектор швидкості (Speed Vector)* – спрощений розрахунок прямолінійного руху транспортного засобу, 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 мініимальному 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 ТЗ повинен здійснювати гальмування для того, щоб це враховувати. Виявлені конфлікти представляються як лінії, які показують шлях, на якому гальмування перевищує порогову величину.

На вкладці «Параметри візуалізації» (*Visualisation Parameters*) можна встановити вид представлення конфліктів:

- *Розмір шрифту для конфлікту (Conflict Font Size)* – при відображенні показника певного конфлікту можна встановити розмір шрифту для його значення;
- *Ширина лінії для конфлікту (Conflict Line Width)* – встановлює розмір лінії представлених конфліктів;
- *Ширина лінії для пари траєкторії (Trajectory Pair Line Width)* – встановлює ширину лінії між ТЗ при їх взаємодії під час конфлікту;
- *Найбільший / найменший критичний колір для конфлікту (The Most / Least Critical Conflict Colour)* – встановлюються різні кольори відповідно до тяжкості виявлених конфліктів.

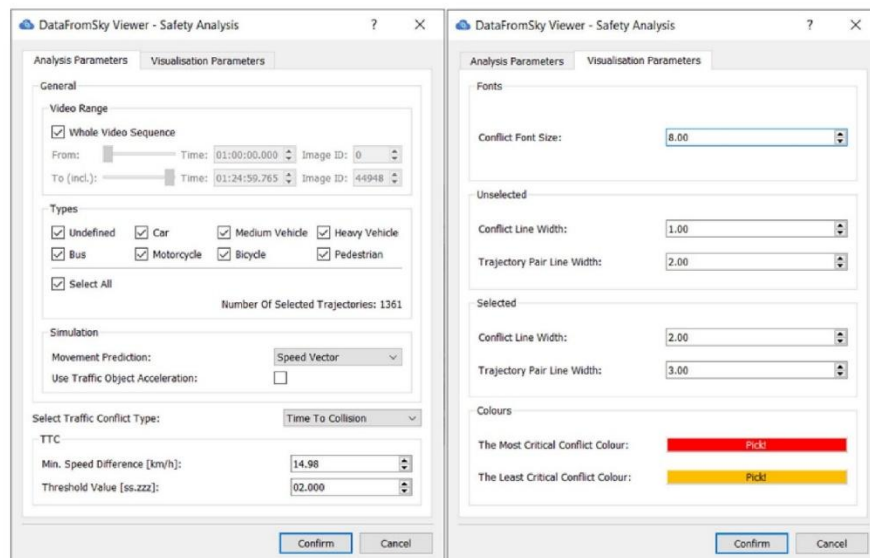


Рис.3.14. Параметри аналізу та представлення конфліктів

Після проведення аналізу безпеки руху у програмі з'являється список конфліктів. Програмою надається інформація про всі виявлені конфлікти, які

упорядковуюються від найбільш тяжких до найменш критичних. Усі виявлені конфлікти також представляються у робочому просторі. Якщо натиснути на позначення представленого конфлікту, відеоролик перейде до моменту виникнення конфлікту, а сам він з'явиться у списку.

- *Ідентифікатор конфлікту (Conflict ID)* – ID позначеного конфлікту.
- *Тип конфлікту (Conflict Type)* – тип позначеного конфлікту.
- *Ідентифікатор першої траєкторії (First Track ID)* – ID першої траєкторії, пов'язаної з конфліктом. При натисканні кнопки «Вибрати!» (*Select!*) шлях підсвічується у списку вибраних траєкторій (*Selected Trajectory list*).
- *Ідентифікатор другої траєкторії (Second Track ID)* – ID другої траєкторії, пов'язаної з конфліктом. При натисканні кнопки «Вибрати!» (*Select!*) шлях також підсвічується у списку вибраних траєкторій (*Selected Trajectory list*).
- *Кут першої траєкторії (First Track Angle)* – показує кут першої траєкторії у час виникнення конфлікту.
- *Кут другої траєкторії (Second Track Angle)* – показує кут другої траєкторії у час виникнення конфлікту.
- *Тривалість виявлення TTC (Time Exposed TTC)* – показує кількість часу, коли значення TTC є нижчим за порогову величину.
- *Тривалість нарощування TTC (Time Integrated TTC)* – представляє собою площу TTC, що знаходиться нижче порогової величини.
- *Найменший час до зіткнення (Worst Time to Collision)* – показує найменшу тривалість часу виникнення конфлікту.
- *Розвиток TTC (TTC progression)* – при натисканні кнопки «Показати» (*Show*) з'являється графік розвитку часу до зіткнення, де горизонтальна вісь – проміжок часу на відео, вертикальна – час до зіткнення.
- *Час після вторгнення (Post Encroachment Time)* – показує PET для обраного конфлікту

- *Час гальмування (Breaking Time)* – показує час, за який величина уповільнення транспортного засобу буде більшою за встановлене значення.
- *Інтенсивність гальмування (Deceleration Rate)* – показує максимальну величину уповільнення у конфлікті.
- *Список конфліктів (Conflicts List)* – дозволяє відсортувати окремі конфлікти, становити відповідний прапорець для конкретного параметра та ввести шукане значення.

Представлені показники визначаються по кожному із конфліктів. Приклад відповідного меню показано на рис.3.15.

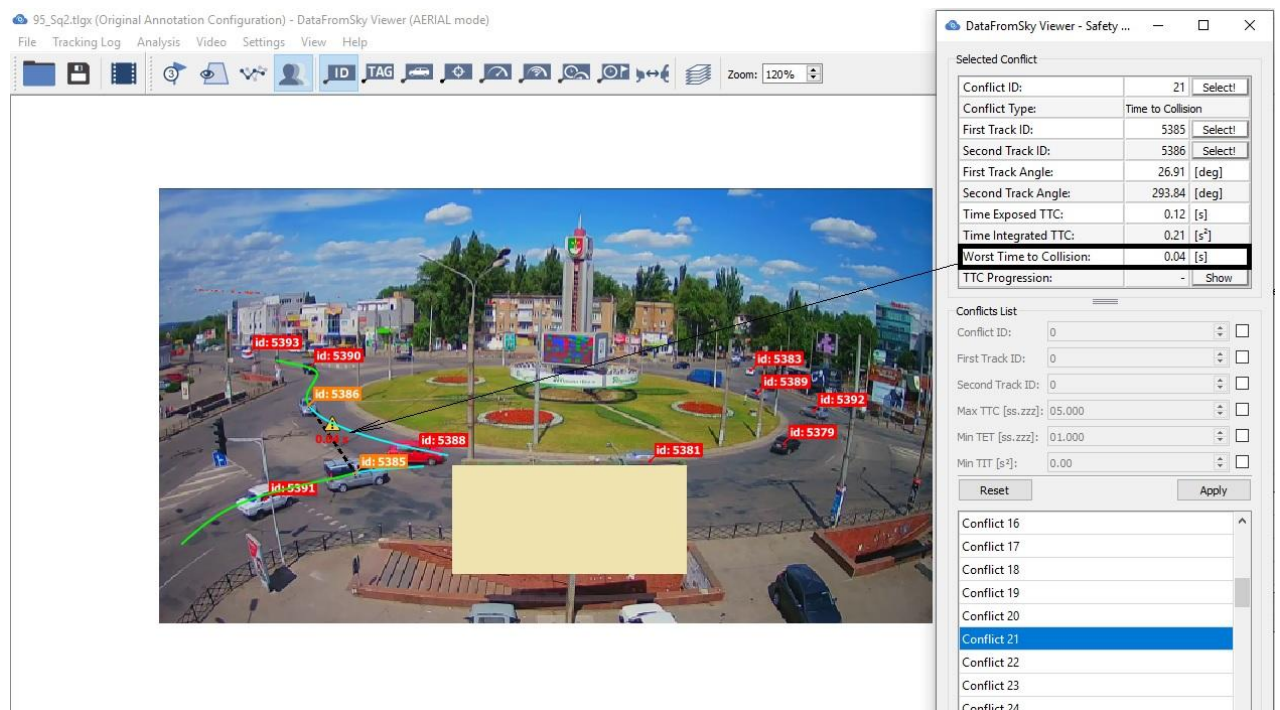


Рис.3.15. Аналіз безпеки руху _ TTC_ приклад вибраного конфлікту (Conflict 21).

Для досліджуваної ділянки виявлено 57 випадків конфліктів об'єктів відстеження за типом TTC (рис.3.16), 233 конфліктів за типом PET (рис.3.17), 22161 випадків екстреного гальмування.

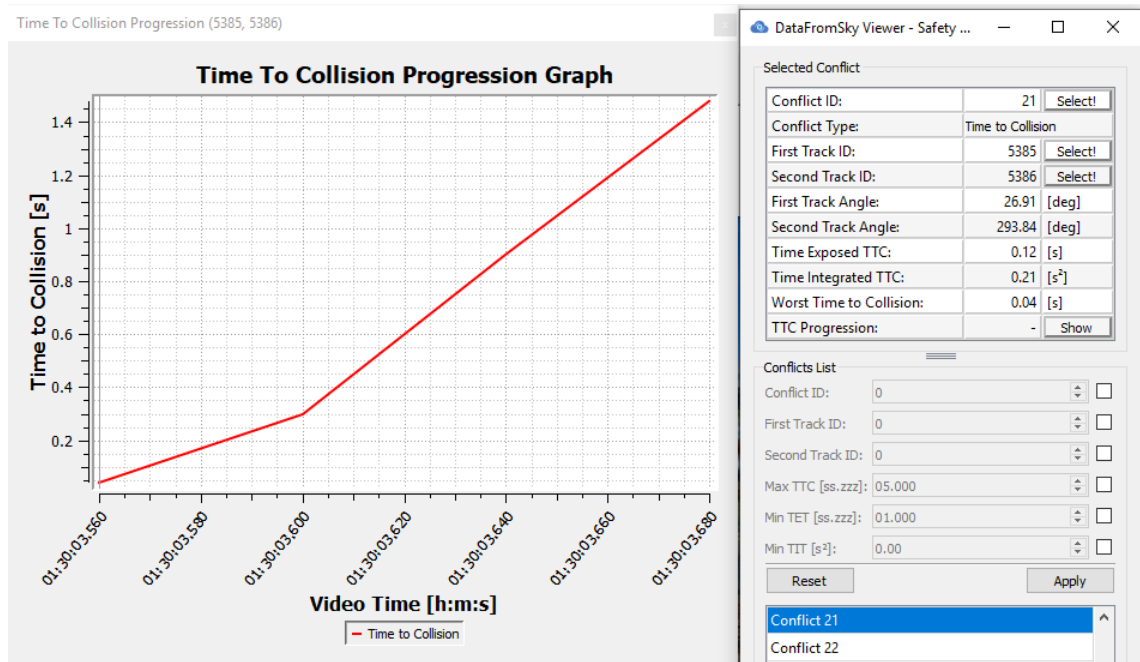


Рис.3.16. Графік розвитку ТТС для Conflict 21

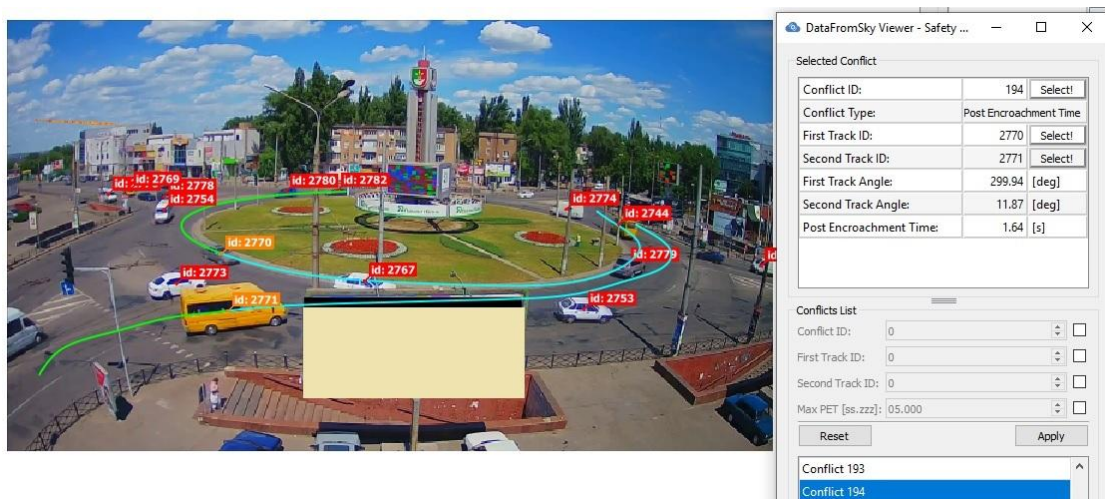


Рис.3.17. Аналіз безпеки руху_PET_обраний конфлікт (Conflict 194)

Після експорту отриманого списку конфлікту у файл формату CSV можливий поглиблений аналіз показників безпеки руху засобами MS Excel (ранжування, статистична обробка, побудова гістограм розподілу тощо).

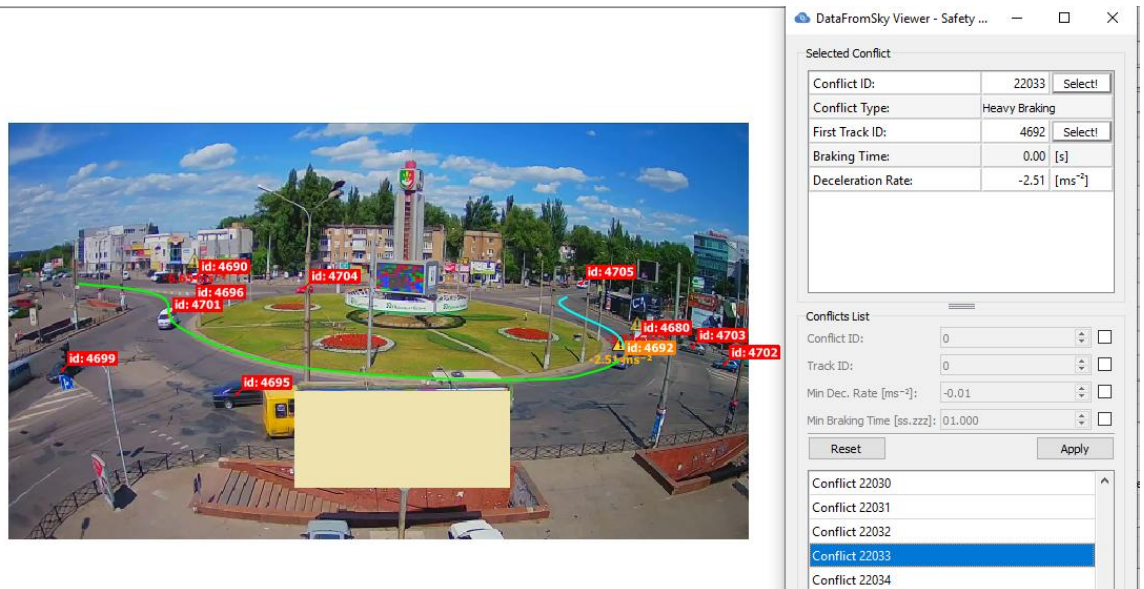


Рис.3.18. Аналіз безпеки руху_екстремне гальмування_обраний конфлікт (Conflict 22033).

3.7. Висновки до розділу 3

Представлена методологія визначення транспортно-експлуатаційних показників варіантів дорожнього будівництва на основі інтелектуального відеаналізу руху може слугувати практичним керівництвом для виконання проектів при техніко-економічному обґрунтуванні рішень в області організації руху та будівництва нових доріг.

РОЗДІЛ 4. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ВІДЕОАНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПРИКЛАДІ ПЕРЕХРЕСТЯ ПРОСПЕКТУ МЕТАЛУРГІВ ТА НІКОПОЛЬСЬКОГО ШОСЕ У МІСТІ КРИВИЙ РІГ

4.1.Актуальність дослідження перехрестя

Перехрестя проспекту Металургів та Нікопольського шосе розташоване у Металургійному районі міста Кривий Ріг. Регулюється світлофорами. Відноситься до місць концентрації дорожньо-транспортних пригод у місті Кривий Ріг за даними Національної поліції. Проспект Металургів має по три смуги руху в одному напрямку, Нікопольське шосе – по дві.

Біля перехрестя по проспекту Металургів розташований авторинок «Термінал» із однойменною зупинкою громадського транспорту, будівля Криворіжгазу. Проспект Металургів переходить до вулиці Криворіжсталі, на якій розташований найкрупніше в Україні металургійне підприємство ВАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» (район Червоної). Нікопольське шосе використовується у якості виїзної дороги від житлового масиву Соцміста до району Довгінцеве, у тому числі, вантажними автомобілями.

Національна поліція пов'язує збільшення кількості конфліктів ТЗ на перехресті із роботою світлосигнальних установок. Для встановлення реальних причин зниження рівня безпеки руху необхідні польові обстеження щодо інтенсивності транспортних потоків із подальшим інтелектуальним відеоаналізом руху за описаною у розділах 1-3 методикою.

Супутникове зображення перехрестя із позначенням напрямків транспортних потоків, представлено у додатку А: на нормальному перехресті налічується 12 можливих напрямків руху ТЗ.

4.2. Шаблон протоколу дослідження

Результати аналізу дорожнього руху на перехресті за допомогою DataFromSky Viewer записуються у протокол дослідження, представлений у додатку Б, який деталізує посилання на отримані дані по кожному блоку програми.

4.3. Польові дослідження транспортної розв'язки

Обстеження перехрестя проводилось у два етапи:

- візуальні спостереження за складом та інтенсивністю транспортних потоків у пікові періоди буднього дня: з 7-00 до 9-00 та з 16-00 до 19-00 години;
- повітряна відеозйомка перехрестя для отримання 20-хвилинного відеоролику у період з 9-00 до 10-00 години ранку у будній день.

Розподіл інтенсивності транспортних потоків за годинами доби показаний на рис. В.1. Як видно з рис. В.1, у ранкові часи транспортне навантаження є більшим, ніж у вечірні пікові години. Максимальне транспортне навантаження спостерігається з 7-40 до 8-00 години ранку та з 8-40 до 9-00 години, коли інтенсивність руху за усьома напрямками на перехресті складає 780–800 авто/20 хв. Максимальна годинна інтенсивність руху на перехресті, визначена під час польових обстежень, становила 2121 авто/год.

Основне транспортне навантаження приходить на прямий рух по проспекту Металургів (підрховано 1670 ТЗ за 5 годин убік Червоної та 1882 ТЗ – за 5 годин убік Соцміста) при середній інтенсивності руху 336 авто/год убік Червоної та 376 авто/год убік Соцміста.

Інтенсивність прямого руху по Нікопольському шосе за величиною поступається лише прямому руху по проспекту Металургів. Вона становить 1136 ТЗ за 5 годин обстежень убік житлового масиву Довгінцеве та 1354 ТЗ за

5 годин обстежень убік Соцміста, що становить у середньому 267–270 авто/год.

За складом транспортних потоків рух по проспекту Металургів та по Нікопольському шосе має різні характеристики: якщо по проспекту Металургів вантажні автомобілі складають лише 4% з усіх типів ТЗ, то по Нікопольському шосе вже 29% (разом із довгомірами). Маршрутні таксі курсують лише по проспекту Металургів, їх доля у загальній величині потоку становить 18%. Доля легкових автомобілів, що рухаються по дорогам досліджуваного перетину майже однакова для двох вулиць – 69% на Нікопольському шосе та 72% на проспекті Металургів.

Найбільша кількість довгомірів (233 одиниці) зафіксована на Нікопольському шосе у напрямку «ж/м Довгінцеве – станція швидкісного трамвая «Кільцева»». Найбільша кількість маршрутних таксі зафіксована по проспекту Металургів убік Соцміста (349 одиниць). Нерівномірність кількості пікових годин у ранкові та вечірні години, які приймалися до уваги для проведення обстеження, пояснює дисбаланс між інтенсивністю руху маршрутних таксі у ранковий (298 одиниць) та вечірній часи (349 одиниць).

Таким чином, потоки прямого руху по проспекту Металургів та Нікопольському шосе визначають основний вплив на експлуатаційні характеристики перехрестя. Долі лівоповоротних потоків від потоку прямого руху, які є важливими для регульованого світлофором нормального перехрестя, для руху по проспекту Металургів складають 8% та 14% відповідно. Стосовно Нікопольського шосе, ситуація відрізняється вкрай. Лівоповоротні потоки убік району Червоної становлять 52% від потоків прямого руху, а убік Соцміста – 29%.

Зважаючи на порівнянну величину інтенсивності транспортних потоків на дорогах, що перехрещуються, велику долю лівоповоротних потоків по Нікопольському шосе, практично відсутністю пішохідного руху поблизу перехрестя, для покращення рівня безпеки руху можливо розглянути варіант влаштування кільцевого перетину із розширенням площі проїзної частини.

На другому етапі було проведено відеозйомку руху на перехресті за допомогою безпілотного літального апарату DJI Mavic Air 2 з висоти 100 м над центром проїзної частини. Роздільна здатність вихідного відеоролику – 1920 на 1080 пікселів, частота кадрів – 59,9 кадрів/с. Тривалість відеоролику – 20 хвилин.

Отриманий відеоролик проаналізовано за допомогою штучного інтелекту платформи DataFromSky. Обробка протоколу трасування виконувалась в утиліті DataFromSky Viewer.

4.4. Конфігурація позначень відеокадру

Для оцінки динаміки руху проведено процедуру геореєстрації відеокадру, тобто встановлені посилання на робочому просторі із прив'язкою до географічних координат у системі WGS-84. Характерні точки для геореєстрації показані на рис.Г.2.

Конфігурація позначень робочого відеокадру складається із 4 вхідних та 4 вихідних лічильників, 4 вхідних смуг, 4 вихідних смуг, 1 нейтральної смуги. Вимірювальні вузли не застосовувались у зв'язку з тим, що перетин є не кільцевим, для яких вони призначені, а Х-подібним. Напрямки вхідних та вихідних лічильників представлено у табл.Г.1.

4.5. Показники динаміки руху

Показники динаміки руху експортуються по кожному об'єкту відстеження, як вже зазначалось у даній роботі. Існує можливість визначати середню швидкість руху по кожному з лічильників (Gates), відсортувавши відповідний масив даних. Відповідно, стають доступними функції розподілу швидкостей руху, які за потребою можуть бути використані для імітаційної моделі перехрестя у частині калібрування швидкості руху ТЗ на вході до

мережі. Слід зауважити, що розподіл швидкості руху підпорядковується нормальному закону.

Середня швидкість ТЗ, які покидають перехрестя через вхідний лічильник під номером 7 є найбільшою серед інших вихідних потоків, й становить 19 км/год, що пояснюється наявністю після перехрестя практично вільної від пішоходів ділянки довжиною 675 м до найближчої зупинки громадського транспорту (стадіон «Металург») по проспекту Металургів. Також для вхідних потоків на в'їзді до перехрестя по проспекту Металургів збоку Соцміста характерна найбільша швидкість руху ТЗ. У середньому вона дорівнює 19,8 км/год. Це пояснюється тією ж самою причиною.

Середня швидкість руху у цілому по перехрестю становить 18,4 км/год із середнім відхиленням 16,2 км/год.

Вантажні автомобілі мають найбільшу експлуатаційну швидкість руху, яка, у середньому, дорівнює 29,4 км/год, коли для легкових автомобілів вона дорівнює 18,4 км/год, а для автобусів – 10,2 км/год. Високі швидкості вантажних автомобілів створюють небезпечні умови для мобільності інших учасників руху.

Пройдені ТЗ відстані знаходяться у межах 40 – 160 м. Середня пройдена відстань складає 99 м із стандартним відхиленням у 38,9 м.

Середнє прискорення ТЗ у потоці склало 1,4 м/с². Величина середнього прискорення, як й розподіл швидкості руху, дозволяє за необхідності відкалібрувати поведінкову модель водія у програмі імітаційного моделювання.

Типова динаміка руху вантажного автомобіля по Нікопольському шосе показана на рис. Г.3. Світлофорне регулювання виглядає дієвим засобом заспокоєння руху, однак залишаючи перехрестя, вантажні автомобілі, у тому числі, довгомірі, нерідко розганяються, що спричиняє додаткову небезпеку для інших учасників руху.

Слід відмітити також значні стандартні відхилення середніх показників швидкості та пройденої відстані.

4.6. Показники інтенсивності руху

Результати відеоаналізу руху у частині визначення інтенсивності транспортних потоків у відповідності до заданих напрямків показали ідентичні візуальним спостереженням показники. Прямий рух по дорогам, що перетинаються, створює основне транспортне навантаження на перехресті. Так годинна інтенсивність руху транспорту при проїзді перехрестя по проспекту Металургів убік Соцміста дорівнює 291 авто/год., а убік Червоної – 267 авто/год., при проїзді перехрестя по Нікопольському шосе убік ж/м Довгінцеве – 288 авто/год., убік станції «Кільцева» – 204 авто/год (табл.Г.2). Лівоповоротні транспортні потоки по Нікопольському шосе убік Соцміста становлять 42% від потоків прямого руху. Лівоповоротні потоки з проспекту Металургів на Нікопольське шосе убік ж/м Довгінцеве та з Нікопольського шосе на проспект Металургів убік Червоної є найбільш тривалішими за часом й займають у середньому 13 с та 12 с відповідно. Це говорить про наявність заторів на перехресті як по Нікопольському шосе збоку Довгінцеве, так і по проспекту Металургів збоку Червоної, які спостерігались під час польових обстежень.

Найбільш навантажені напрямки руху показано на рис. Г.5.



Рис.4.1. Найдовші за часом маршрути руху ТЗ

У порівнянні з даними щодо складу транспортних потоків, отриманих шляхом візуальних спостережень, та інтелектуального аналізу відеоролику руху, у визначеній долі вантажних автомобілів по Нікопольському шосе існують суттєві розбіжності. Так, доля вантажних автомобілів у цьому напрямку за спостереженнями становить 29% від загальної кількості ТЗ, а за аналізом в DataFromSky – тільки 2% – 4%. Доля легкового автотранспорту для двох доріг, що перетинаються, знаходиться на рівні 80–81% відповідно до DataFromSky, а маршрутних таксі по проспекту Металургів – 11 –15%.

Виявлені розбіжності у складі транспортних потоків можна вважати недоліком технології DataFromSky.

Статистика інтервалів часу між двома послідовними транспортними засобами представлена нижче:

Overall: 1.50652 (sigma = 0.946104, num of samples = 575)
 Gate "Gate 1": 1.64267 (sigma = 0.903396, num of samples = 78)
 Gate "Gate 2": 1.58348 (sigma = 0.967897, num of samples = 58)
 Gate "Gate 3": 1.531 (sigma = 0.919332, num of samples = 69)
 Gate "Gate 4": 1.39147 (sigma = 1.00243, num of samples = 79)
 Gate "Gate 5": 1.5852 (sigma = 0.982424, num of samples = 58)
 Gate "Gate 6": 1.4402 (sigma = 1.01834, num of samples = 43)
 Gate "Gate 7": 1.39967 (sigma = 0.932872, num of samples = 77)
 Gate "Gate 8": 1.40656 (sigma = 0.992661, num of samples = 42)
 Gate "Gate 19": 1.5492 (sigma = 0.918179, num of samples = 71)

Бачимо, що за всьома лічильниками інтервал часу між ТЗ у потоці становить 1,5 с, що є типовим показником для перехресть у місті.

4.7. Аналіз безпеки руху

Оцінку безпеки дорожнього руху на перехресті проводимо на основі системи замісних показників. ТТС, РЕТ та екстрене гальмування є тими замісними показниками, звіт по яких можна вилучити із результатів аналізу в DataFromSky. Алгоритм оцінки потенційних конфліктів ТЗ на об'єктах транспортної інфраструктури, який використовується в DataFromSky Viewer, визнано Міністерством Чеської Республіки у якості стандарту для встановлення рівня безпеки руху [11]. Програма виконує обробку розпізнаних

траєкторій ТЗ та за неведеними у даній роботі алгоритмами відповідно до встановлених користувачем порогових величин, визначає кількість конфліктів типу TTC, PET та екстреного гальмування.

Другим підходом до оцінки безпеки руху є визначення замісних показників безпеки за допомогою утиліти SSAM (Surrogate Safety Assessment Model). Оскільки DataFromSky Viewer дозволяє екстрагувати файл розпізнаних траєкторій руху в окремий файл у форматі «.trj», з'являється можливість виконати аналіз даного файлу в програмному середовищі SSAM. Дана програма розроблена Федеральним агентством автомобільних доріг США (FHWA) [Помилка! Джерело посилання не знайдено.] ще у 2008 році й відтоді інтерфейс програми не потерпів значних змін. На думку розробників траєкторія руху ТЗ визначається перед усім конфігурацією перетину, отже, визначившись із замісними показниками безпеки руху на основі аналізу траєкторій, можна зробити висновки про суворість вірогідних конфліктів на певній локації та оцінити безпечність її конфігурації для учасників руху. На початку призначенням SSAM був аналіз траєкторій, отриманих у результаті мікроімітаційного моделювання руху у таких програмах як VISSIM, AIMSUN, CUBE, PARAMICS [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Однак з появою такого потужного інструменту автоматизації аналізу руху як технологія DataFromSky, стало можливим обробити файл фактичних, а не модельованих траєкторій, що суттєво покращує якість оцінки безпеки руху. Відтепер полем діяльності для утиліти SSAM залишається оцінка безпеки руху саме для тих рішень, які ще не знайшли впровадження у реальні умови та перевіряються на імітаційних моделях. Для існуючих дорожньо-транспортних умов для оцінки безпеки руху є дві опції: аналіз за допомогою DataFromSky та екстракція траєкторій та подальшій їх аналіз у SSAM.

При третьому етапі виконуємо кількісний та якісний аналіз конфліктів, отриманих за двома технологіями. Кількісний аналіз полягає у зіставленні кількості конфліктів за показниками TTC та PET, коли їх порогові величини задаються однаковими. Встановлені величини даних показників говоритимуть

про суворість конфліктів (показник якості). Також якісний аналіз полягатиме у тому, що за допомогою DataFromSky Viewer можливо провести візуалізацію будь-якого конфлікту, що нас цікавитиме, а за допомогою SSAM визначитись із кількістю конфліктів за трьома типами: перетин траєкторій (*crossing*), наїзд ззаду (*rear-end*), зміна смуги руху (*lane change*). Класифікація того чи іншого типу конфлікту залежить від кута, під яким відбувається взаємодія попарно порівнянних ТЗ (рис.Д.1).

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 (конфлікти зони, світлосигнальні установки); дорожній рух (вхідні потоки та маршрути транспортних засобів). 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.

На рис. Д.2 представлено зведений звіт по конфліктам на перехресті, визначений у SSAM. Всього виявлено 1149 потенційних конфліктів, з яких 516 – перетин траєкторій руху, 502 – наїзд ззаду та 131 – конфлікти, пов'язані із зміною смуги руху. Середнє значення TTC – 0,63 с, PET – 0,69 с. Теплова карта конфліктів – на рис.Д.3. Більшість конфліктів за типом перетину траєкторій спостерігається для поворотних та прямих транспортних потоків по проспекту Металургів при виїзді на перехрестя у бік Соцміста, за наїздом ззаду – по всій досліджуваній ділянці, зміною смуги руху – на межах перехрестя.

Результати аналізу конфліктів в DataFromSky Viewer не суперечать оціночним показникам, отриманим в SSAM. За DataFromSky Viewer на

перехресті виявлено 1047 конфліктів типу ТТС, 104 з яких із значенням даного показника у 0,02 с. У більшості випадків суворі конфлікти (0,02 с швидкість до зіткнення) виникають між двома легковими автомобілями, однак 8 конфліктів зафіксовано між легковим автомобілем та мікроавтобусом. Також можливий конфлікт автобусу та легкового автомобіля, пішохода та легкового автомобіля та навіть легкового автомобіля та мотоцикліста.

Найбільша кількість конфліктів ТТС та РЕТ пов'язана із лівоповоротними потоками з Нікопольського шосе на проспект Металургів убік Червоної.

4.8. Висновки до розділу 4

Для перевірки методології інтелектуального відеоаналізу даних дорожнього руху досліджено регульоване світлофором перехрестя проспекту Металургів та Нікопольського шосе у місті Кривий Ріг, яке є місцем концентрації ДТП.

1. Проведено візуальне обстеження за складом та інтенсивністю транспортних потоків на перехресті у пікові години буднього дня – з 7-00 до 9-00 та з 16-00 до 19-00, в результаті якого встановлено, що середньодобова інтенсивність руху по проспекту Металургів становить 336 авто/год при русі убік Червоної та 376 авто/год убік Соцміста, по Нікопольському шосе – 267–270 авто/год. Виділяються лівоповоротні транспортні потоки по Нікопольському шосе, які убік району Червоної становлять 52% від потоків прямого руху, а убік Соцміста – 29%.

2. Розподіл типів ТЗ по проспекту Металургів виглядає таким чином: легкові автомобілі – 72%, маршрутні таксі – 18%, вантажні автомобілі – 4%, інші ТЗ – 6%. Розподіл типів ТЗ по Нікопольському шосе наступний: легкові автомобілі – 69%, вантажні автомобілі – 29%, інші ТЗ – 2%.

3. Проведено інтелектуальний відеоаналіз даних руху за допомогою програмного інструмента DataFromSky Viewer. У результаті аналізу визначено

такі показники годинної інтенсивності потоків: при проїзді перехрестя по проспекту Металургів убік Соцміста – 291 авто/год., а убік Червоної – 267 авто/год., при проїзді перехрестя по Нікопольському шосе убік ж/м Довгінцеве – 288 авто/год., убік станції «Кільцева» – 204 авто/год. Склад потоку основних учасників руху: легкові автомобілі – 80 –81%, вантажні автомобілі – 2-4%, маршрутні таксі (по проспекту Металургів) – 11 –15%.

4. Аналіз динаміки руху дозволив виявити, що ТЗ нерідко пришвидшуються при виїзді з перехрестя по проспекту Металургів убік Соцміста, що пояснюється наявністю вільної від пішоходів ділянки до найближчої зупинки громадського довжиною 675 м.

5. Аналіз безпеки руху за допомогою технологій SSAM та DataFromSky транспорту показав, що найбільша кількість конфліктів TTC та PET пов'язана із лівоповоротними потоками з Нікопольського шосе на проспект Металургів убік Червоної.

ВИСНОВКИ

У роботі розгорнуто представлено методологію інтелектуального відеоаналізу даних дорожнього руху за технологією зі штучним інтелектом DataFromSky.

1. На прикладах реальних перехресть показано, які інструменти аналізу доступні досліднику при використанні платформи DataFromSky Viewer: від створення конфігурації позначень робочого відеокادру до аналізу безпеки руху, що служить методологічною основою для розробки та прийняття рішень стосовно нового дорожнього будівництва, реконструкції, техніко-економічного обґрунтування проєктів з організації руху, розробки комплексних схем організації руху (КСОДР), підвищення рівня безпеки руху.

2. Проведено польові обстеження за складом та інтенсивністю транспортних потоків на перехресті проспекту Металургів та Нікопольського шосе у місті Кривий Ріг у пікові години буднього дня – з 7-00 до 9-00 та з 16-00 до 19-00, а також повітряна відеозйомка перехрестя з 9-00 до 10-00 години для отримання 20-хвилинного відеоролику руху та його подальшого аналізу на платформі DataFromSky. Різниця у величині інтенсивності потоків між двома методами обстеження склала 13 –15%. Втім, визначений склад транспортних потоків відрізняється суттєво у частині вантажних автомобілів: по Нікопольському шосе доля вантажного автотранспорту за візуальними спостереженнями становила 29%, а за результатами відеоаналізу руху знаходиться на рівні 2–4%.

3. Погіршення умов безпеки руху на перехресті можна зв'язати із значною інтенсивністю лівоповоротних потоків з Нікопольського шосе убік Червоної (52% від прямого руху) та убік Соцміста (29% від потоків прямого руху), великою кількістю потенційних конфліктів за типом «наїзд ззаду», «перетин потоку».

4. Враховуючи порівняно малу різницю в інтенсивності руху між двома вулицями, велику долю лівоповоротних потоків, практично відсутністю пішохідного руху поблизу перехрестя, рішенням щодо підвищення безпеки руху може виступати, на думку автора, влаштування кільцевого перетину із розширенням площі проїзної частини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. D. Acunzo, Y. Zhu, B. Xie and G. Barattoff, "Context-adaptive approach for vehicle detection under varying lighting conditions", *Proc. IEEE ITSC*, pp. 654-660, 2007-Sep.-30Oct. 3.
2. S. Agarwal, A. Awan and D. Roth, "Learning to detect objects in images via a sparse part-based representation", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 26, no. 11, pp. 1475-1490, Nov. 2004.
3. D. Alonso, L. Salgado and M. Nieto, "Robust vehicle detection through multidimensional classification for on-board video-based systems", *Proc. IEEE ICIP*, vol. 4, pp. 321-324, 2007-Sep.-16Oct. 19.
4. S. Atev, H. Arumugam, O. Masoud, R. Janardan and N. P. Papanikolopoulos, "A vision-based approach to collision prediction at traffic intersections", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 6, no. 4, pp. 416-423, Dec. 2005.
5. S. Atev, G. Miller and N. P. Papanikolopoulos, "Clustering of vehicle trajectories", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 11, no. 3, pp. 647-657, Sep. 2010.
6. Y. Boykov and O. Veksler, *Mathematical Models in Computer Vision: The Handbook* Graph Cuts in Vision and Graphics: Theories and Applications, New York:Springer-Verlag, pp. 100-119, 2005.
7. N. Buch, M. Cracknell, J. Orwell and S. A. Velastin, "Vehicle localization and classification in urban CCTV streams", *Proc. 16th ITS WC*, pp. 1-8, 2009-Sep.
8. N. Buch, J. Orwell and S. A. Velastin, "Detection and classification of vehicles for urban traffic scenes", *Proc. Int. Conf. VIE*, pp. 182-187, 2008-Jul.
9. R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems", *Trans. ASME-J. Basic Eng.*, vol. 82, pp. 35-45, 1960.
10. <https://www.rcesystems.cz/>

11. S. Kamijo, M. Harada and M. Sakauchi, "Incident detection based on semantic hierarchy composed of the spatiotemporal MRF model and statistical reasoning", *Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, vol. 1, pp. 415-421, 2004-Oct.
12. S. Kamijo, K. Ikeuchi and M. Sakauchi, "Vehicle tracking in low-angle and front-view images based on spatiotemporal Markov random field model", *Proc. 8th World Congr. Intell. Transp. Syst.*, 2001.
13. S. Kamijo, Y. Matsushita, K. Ikeuchi and M. Sakauchi, "Traffic monitoring and accident detection at intersections", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 1, no. 2, pp. 108-118, Jun. 2000.
14. P. Kumar, A. Mittal and P. Kumar, "Study of robust and intelligent surveillance in visible and multimodal framework", *Informatica*, vol. 32, pp. 63-77, 2008.
15. Niluthpol Chowdhury Mithun, Nafi Ur Rashid, S. M. Mahbubur Rahman "Detection and Classification of Vehicles from Video Using Multiple Time-Spatial Images," *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 13, NO. 3, September 2012.
16. Sayanan Sivarama, Mohan Manubhai Trivedi, "Integrated Lane and Vehicle Detection, Localization, and Tracking: A Synergistic Approach," *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 14, no. 2, June 2013.
17. Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/08051/08051.pdf>
18. Yong Tang, Congzhe Zhang, RenshuGu, Peng Li, and Bin Yang. Vehicle detection and recognition for intelligent traffic surveillance system. *Multimedia tools and applications*, 76(4):5817-5832, 2017
19. Z.Chen, N.Pears, M.Freeman, and J.Austin, "Road vehicle classification using support vector machines," in *Proc. IEEE Int. Conf. Intell. Comput. Intell. Syst.*, Shanghai, China, 2009, pp. 214218.
20. D. Withopf and B. Jahne, "Learning algorithm for real-time vehicle tracking," in *Proc. IEEE ITSC*, Sep. 2006, pp. 516 –521.

21. J. Wang, G. Bebis, and R. Miller, "Overtaking vehicle detection using dynamic and quasi-static background modeling" in Proc. IEEE CVPR, Jun. 2005, p. 64.
22. Bas, Erhan, A. Murat Tekalp, and F. Sibel Salman. "Automatic vehicle counting from video for traffic flow analysis." Intelligent Vehicles Symposium, 2007 IEEE. IEEE, 2007.
23. Zhang, Li. (2017). Open Source Surrogate Safety Assessment Model, 2017 Enhancement and Update: SSAM v3.0. 10.13140/RG.2.2.18584.75521.

Додаток А. Схема перехрестя

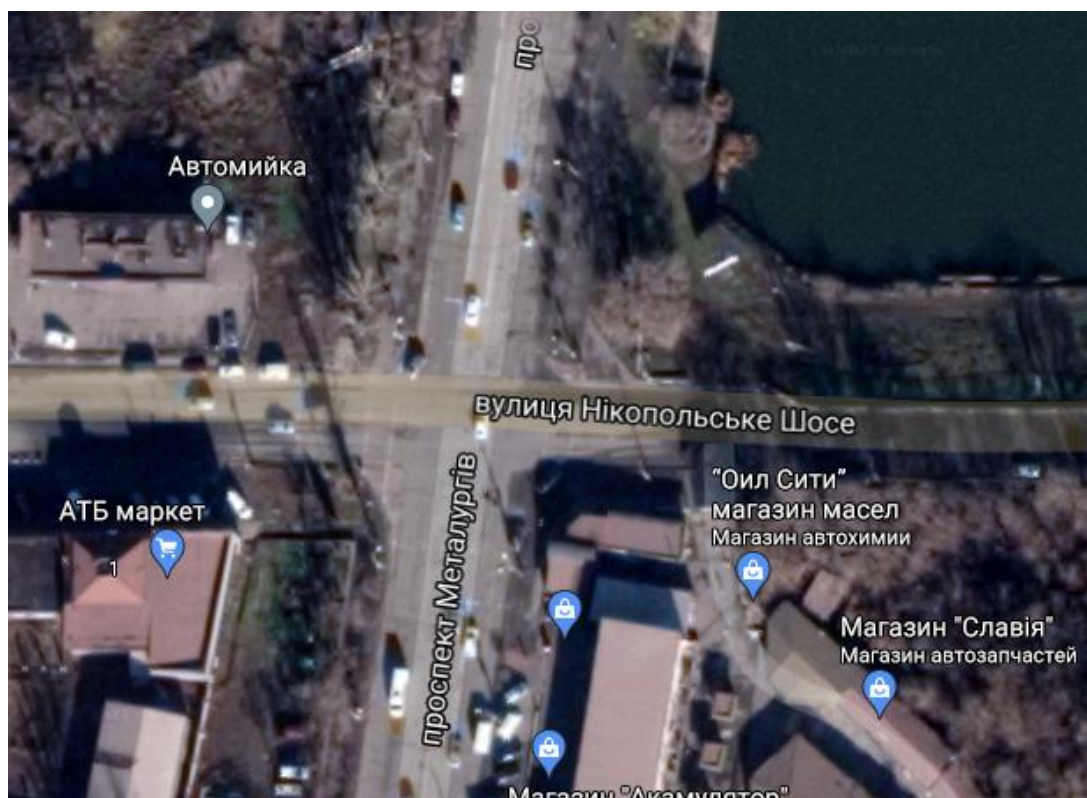


Рис.А.1. Супутниковий знімок перехрестя

Додаток Б. Опис матеріалів по результатам аналізу дорожнього руху за
допомогою DataFromSky Viewer

1	Загальна характеристика перехрестя	п.4.1
2	Статистика протоколу трасування	
3	Геореєстрація (скріншот)	рис.Г.1
4	Конфігурація позначень: <i>смуги (Lanes)</i> <i>лічильники (Gate)</i> <i>вузли аналізу (Analysis nodes)</i> <i>області руху (Traffic regions)</i> <i>області дії (Action regions)</i>	рис.Г.2, табл.Г.1
5	Динаміка дорожнього руху: <i>Графік швидкостей руху об'єктів відстеження</i> <i>Графік пройдених відстаней об'єктів відстеження.</i> <i>Графік прискорень/уповільнень об'єктів відстеження.</i>	п.4.5
6	Залежності швидкості-прискорення для транспортної одиниці	рис.Г.3
7	Матриці зародження-призначення (OD): <i>за кількістю транспортних засобів на маршруті, одиниць</i> <i>за середнім часом руху, с</i> <i>за відношенням поточної кількості об'єктів на маршруті до</i> <i>максимальної</i> Візуалізація параметрів траєкторій руху об'єктів для найбільш навантажених маршрутів	рис.Г.4, рис.4.1, табл.Г.2
8	Графіки потоку зародження-призначення для маршрутів найбільшої інтенсивності	рис.Г.5
9	Статистичний звіт по інтервалам часу між двома послідовними транспортними засобами (<i>Headway Statistics</i> <i>Report</i>)	п.4.6
10	Аналіз безпеки дорожнього руху: <i>Гістограма розподілу конфліктів за типом</i> <i>TTC</i> <i>PET</i> <i>«Екстрене гальмування»</i> <i>Кадр, який характеризує найгіршу ситуацію з конфліктами</i> <i>за типом</i> <i>TTC</i> <i>PET</i> <i>«Екстрене гальмування»</i>	п.4.7.
11	Висновки по результатам аналізу	п.4.8

Додаток В. Результати візуальних обстежень інтенсивності транспортних потоків

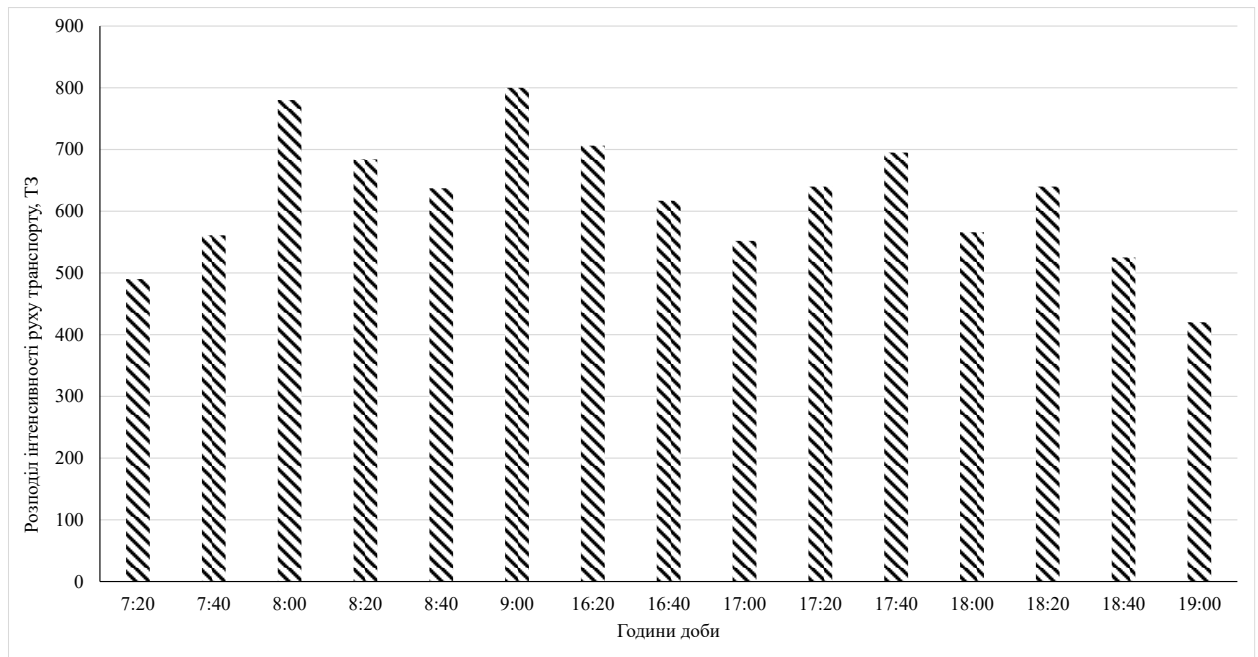


Рис.В1. Розподіл інтенсивності руху ТЗ на перехресті, визначений за 5 годин обстежень (з 7-00 до 9-00 та з 16-00 до 19-00 години)

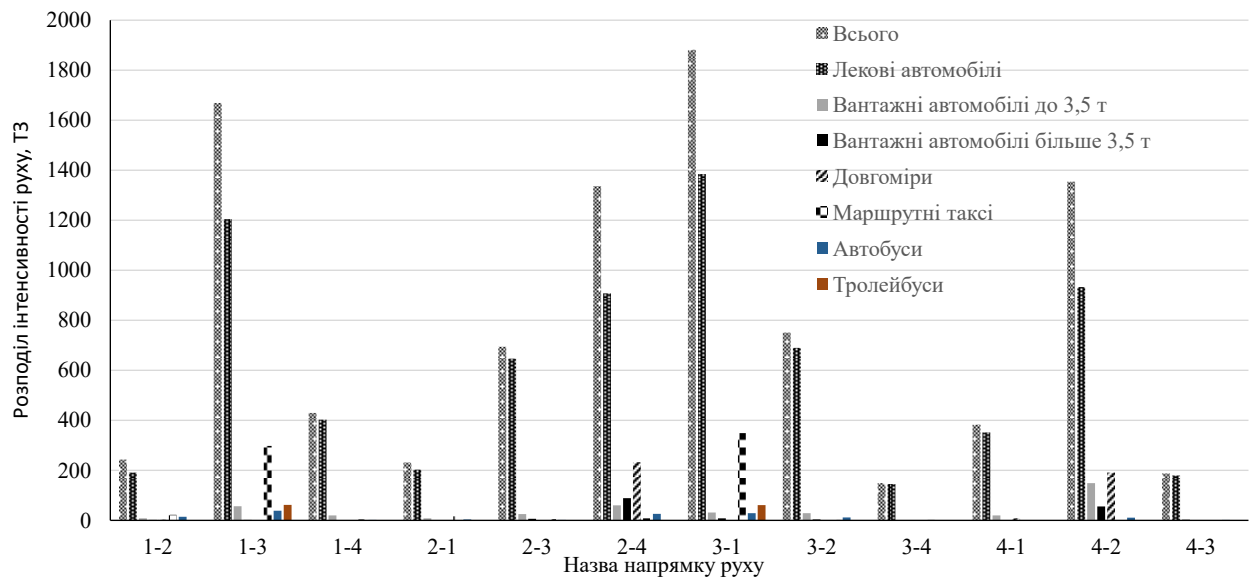


Рис.В.2. Розподіл інтенсивності руху транспорту на перехресті за напрямками руху за весь період спостережень



Рис. В.3. Склад транспортного потоку ТЗ, що рухаються по проспекту Металургів



Рис. В.4. Склад транспортного потоку ТЗ, що рухаються по Нікопольському шосе

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

Номер та позначення лічильника	Тип лічильника	Напрямок транспортного потоку
Gate 1	Вхідний	В'їзд до перехрестя по проспекту Металургів з боку району Червоної
Gate 2	Вихідний	Виїзд з перехрестя по проспекту Металургів у бік району Червоної
Gate 3	Вихідний	В'їзд до перехрестя по Нікопольському шосе з боку станції «Кільцева»
Gate 4	Вхідний	Виїзд з перехрестя по Нікопольському шосе у бік станції «Кільцева»
Gate 5	Вхідний	Виїзд з перехрестя по Нікопольському шосе у бік ж/м Довгінцеве
Gate 6	Вихідний	В'їзд до перехрестя по Нікопольському шосе з боку ж/м Довгінцеве
Gate 7	Вихідний	Виїзд з перехрестя по проспекту Металургів у бік ж/м Соцміста
Gate 8	Вхідний	В'їзд до перехрестя по проспекту Металургів з боку ж/м Соцміста

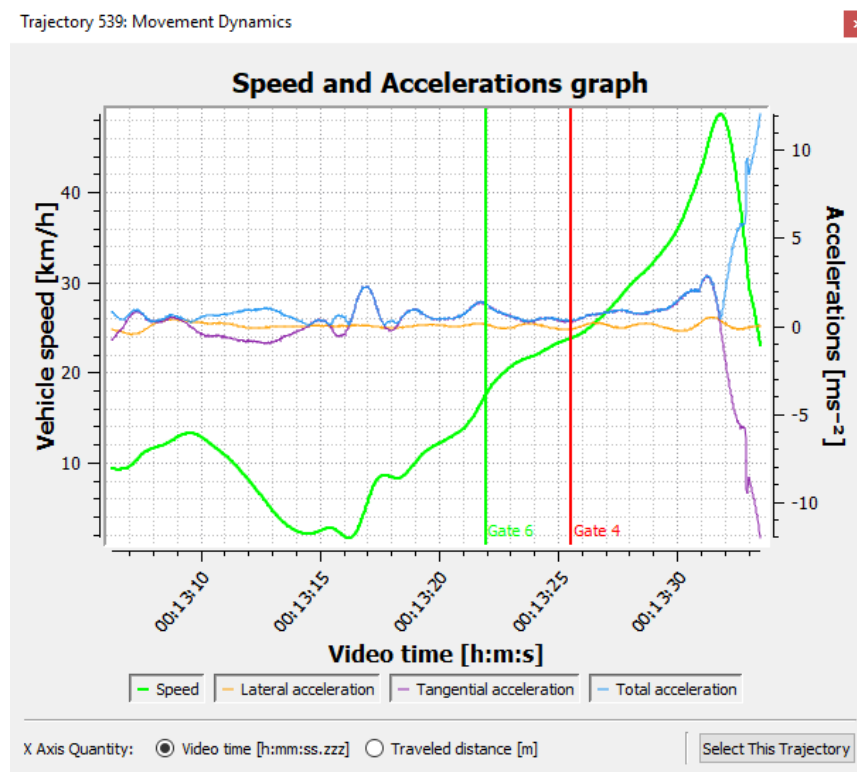


Рис.Г.3. Типова динаміка руху вантажного автомобіля

Vehicles count	Average Time	Minimal Time	Maximal Time	Median Time	Standard Deviation
	Exit Gate 2 (2)	Exit Gate 4 (4)	Exit Gate 5 (5)	Exit Gate 7 (7)	
Entry Gate 1 (1)	0	14	0	97	
Entry Gate 3 (3)	2	1	96	41	
Entry Gate 6 (6)	12	68	0	4	
Entry Gate 8 (8)	89	44	6	0	

Рис.Г.4. О-D-матриця інтенсивності потоку за період відеореєстрації

Табл.Г.2

О-D матриця транспортних потоків та фактична годинна інтенсивність транспортного руху

Номер лічильника	Exit Gate 2	Exit Gate 4	Exit Gate 5	Exit Gate 7	Годинна інтенсивність руху транспорту, авто/год.
Entry Gate 1	0	52	0	291	343
Entry Gate 3	6	3	288	123	420
Entry Gate 6	36	204	0	12	252
Entry Gate 8	267	132	18	0	417

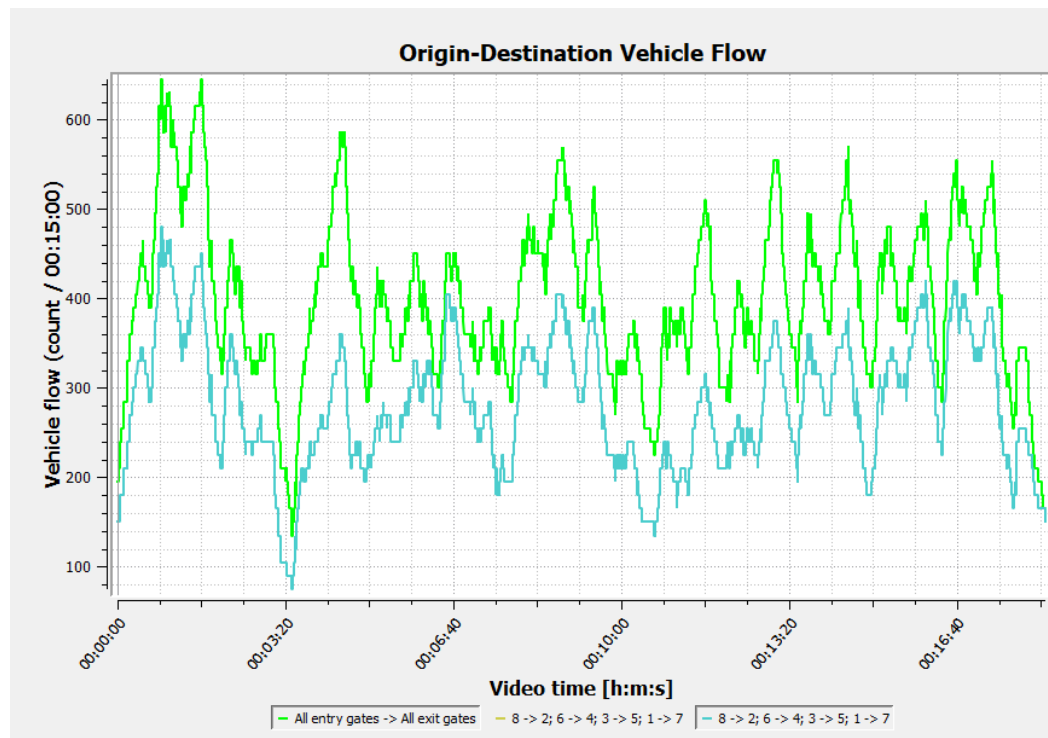


Рис.Г.5. Графіки розподілу інтенсивності транспортних потоків

Додаток Д. Аналіз безпеки руху

Threshold Angle Diagram

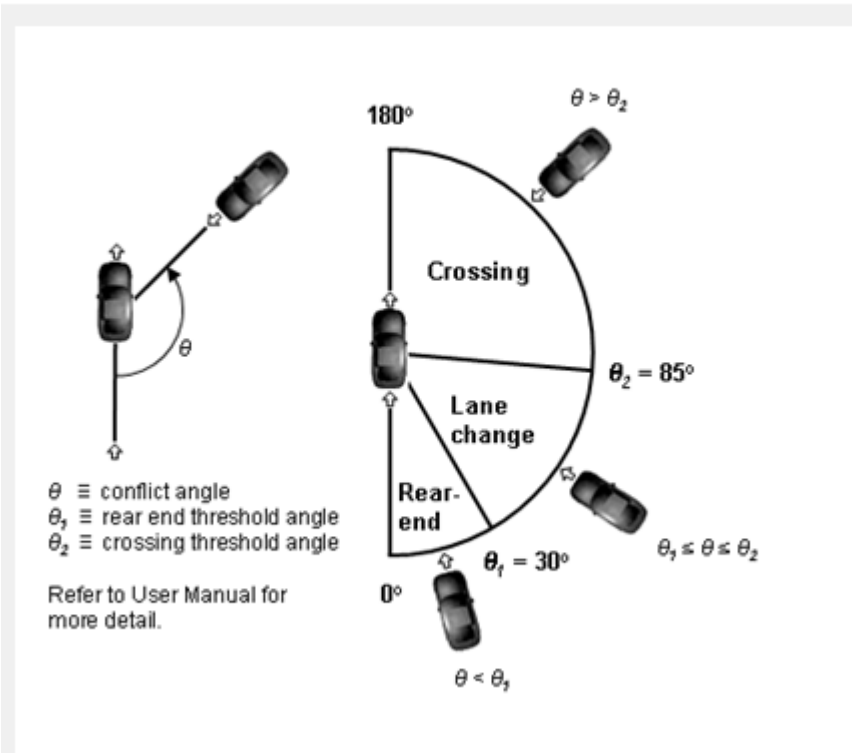


Рис.Д.1. Схема визначення типів конфліктів в SSAM

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	0.63	0.52
Unfiltered-All F...	PET	0.00	4.99	0.69	0.83
Unfiltered-All F...	MaxS	0.01	50.19	6.03	18.94
Unfiltered-All F...	DeltaS	0.00	50.19	5.27	22.26
Unfiltered-All F...	DR	-33.99	7.97	-1.75	6.50
Unfiltered-All F...	MaxD	-68.30	7.97	-4.84	22.34
Unfiltered-All F...	MaxDeltaV	0.00	25.10	3.24	8.66
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	0.63	0.52
Unfiltered-C:\...	PET	0.00	4.99	0.69	0.83
Unfiltered-C:\...	MaxS	0.01	50.19	6.03	18.94
Unfiltered-C:\...	DeltaS	0.00	50.19	5.27	22.26
Unfiltered-C:\...	DR	-33.99	7.97	-1.75	6.50
Summary Group	Total	unclassified	crossing	rear end	lane change
Unfiltered-All F...	1149	0	516	502	131
Unfiltered-C:\...	1149	0	516	502	131

Рис.Д.2.Зведений звіт SSAM по конфліктам на перехресті

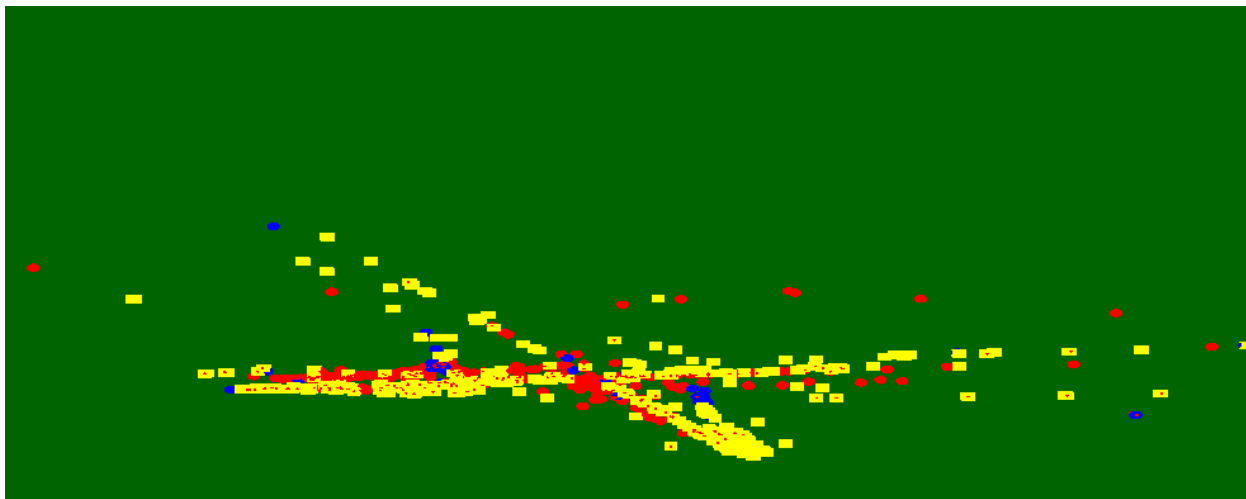


Рис.Д.3. Теплова карта конфліктів: жовтим кольором позначені конфлікти типу «наїзд ззаду», синім – зміна смуги руху, червоним – перетин.