

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему Обґрунтування параметрів та підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиць Героїв АТО та П. Дорошенка у місті Кривий Ріг

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТТ-17 _____
(шифр групи)

О.А. Михайлов
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент _____
(науковий ступінь, вчене звання)

В.О.Сістук
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор _____
(науковий ступінь, вчене звання)

Ю.А. Монастирський
(підпис) (прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2021 р.

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

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 – «Транспорт»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автомобільного транспорту
_____/_____.
_____”_____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Михайлову Олександрю Анатолійовичу

1. Тема: Обґрунтування параметрів та підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиць Героїв АТО та П. Дорошенка у місті Кривий Ріг

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 програми відеоаналізу руху DataFromSky, мікроімітаційного моделювання транспортних потоків PTV VISSIM, аналізу безпеки руху SSAM.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Аналіз методів автоматизації оцінки безпеки руху за допомогою комп’ютерного зору 2. Візуальні обстеження інтенсивності транспортних потоків на сполученому перетині 3. Розробка методики оцінки безпеки руху. 4. Автоматизована оцінка безпеки руху за допомогою DataFromSky Viewer. 5. Аналіз конфліктів та замісних показників безпеки руху в SSAM 6. Порівняння методів

автоматизації оцінки безпеки руху. 7. Аналіз економічної ефективності використання технологій DataFromSky та VISSIM/SSAM.

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

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

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Розробка методики дослідження	30.05-07.05	
2	Автоматизована оцінка безпеки руху за допомогою DataFromSky Viewer	07.05-12.05	
3	Аналіз конфліктів та замісних показників безпеки руху для кільцевій розв'язки в SSAM	12.05-15.05	
4	Порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху та оцінка їх ефективності	15.05-19.05	
5	Оформлення пояснювальної записки і презентації	19.05-28.05	

Студент

(підпис)

О.А.Михайлов

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Сістук

РЕФЕРАТ

Проведено дослідження методів автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху із використанням технології штучного інтелекту та аналізу файлу траєкторій руху транспортних засобів, які отримані в результаті проведення імітаційного комп'ютерного моделювання. За основу критеріїв порівняння прийняті сурогатні показники безпеки руху: час до зіткнення (TTC) та час після вторгнення (PET). Вибір даних критеріїв обумовлений тим, що вони дозволяють із достатньою точністю класифікувати певну подію взаємодії транспортних засобів як конфлікт, та одночасно представлені у якості вихідних параметрів аналізу безпеки руху у двох провідних продуктах – DataFromSky та SSAM.

Для виконання роботи розроблено методику, яка об'єднала автоматизовану оцінку безпеки руху у єдине середовище.

Дану методику апробовано на прикладі перетину вулиць П.Дорошенка та Героїв АТО у місті Кривий Ріг. В результаті встановлено:

1. Загальна кількість виявлених конфліктів у програмі DataFromSky Viewer становила 15 за показником TTC, 12 – за показником PET, у програмі SSAM – по 10 конфліктів кожного типу.

2. Різниця у отриманих середніх значеннях замісних показників для двох програм становила відповідно для TTC 12,3%, для PET – 9,3%, що є незначними показниками. За якісними критеріями у порівнянні з DataFromSky, SSAM показує більш песимістичний прогноз безпеки руху відповідно до TTC із середнім значенням останнього у 0,99 с проти 1,13 с, за PET – 1,89 с проти 2,04 с.

3. Збільшення тривалості зеленого сигналу світлофорів з 28 с до 35 с для пропуску лівоповоротних потоків з вулиці Героїв АТО дозволить зменшити кількість конфліктів з 9 до 8, відповідно до звіту SSAM, що суттєво не вплине стан безпеки руху.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ	8
1.1. Технологія комп'ютерного зору для автоматизації оцінки безпеки руху	8
1.2. Автоматизація аналізу безпеки руху за допомогою підходу VISSIM/SSAM	15
1.3. Загальна методика досліджень	19
1.4. Висновки до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	22
2.1. Загальна характеристика перетину	22
2.2. Параметри вихідного відеозапису дорожнього руху на досліджуваному перетині	23
2.3. Обстеження інтенсивності руху на кільцевій розв'язці проспекту Гагаріна, Дніпровського шосе та вулиці П. Дорошенка	23
2.4. Автоматизована оцінка безпеки руху за допомогою DataFromSky Viewer ...	25
2.5. Розробка імітаційної моделі кільцевої розв'язки.	26
2.6. Аналіз конфліктів та замісних показників безпеки руху в SSAM.....	36
2.8. Порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху	38
2.9. Висновки до розділу 2	39
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ	41
3.1 Метод визначення ефективності автоматизації оцінки безпеки руху	41
3.2. Аналіз економічної ефективності використання технологій DataFromSky та VISSIM/SSAM	42
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	44
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогодні ведеться активний пошук у питанні розробки достовірної математичної моделі прогнозу дорожньо-транспортних пригод (ДТП) за якісними та кількісними параметрами. Ще у 2008 Федеральною агенцією управління автомобільними дорогами (США) було представлено сурогатну модель оцінки безпеки руху (SSAM), в якій дослідники виходили з тієї тези, що потенційний конфлікт на перетині залежить не тільки від поточних дорожньо-транспортних умов, стану та досвіду водія, інтенсивності руху та інших кон'юнктурних факторів, а й від ефективності транспортної інфраструктури та системи організації руху, від того, які параметри руху були закладені проектувальниками на період дорожнього будівництва. Водночас, аналіз стану безпеки руху на основі статистичних звітів з ДТП як метод показав кращу кореляцію з фактичними подіями ДТП, ніж SSAM [30].

Не знижуючи прогностичної здатності SSAM, слід додати, що постає необхідність підвищити якість методу, насамперед, за допомогою додаткових методів оцінки руху, таких як мікроімітаційних та відеоаналітичних із використанням штучного інтелекту. Деякі сучасні платформи дозволяють визначати сурогатні показники безпеки руху безпосередньо у програмному середовищі.

У теперішній час порівняння результатів аналізу безпеки руху із використанням замісних показників відповідно до програм інтелектуального аналізу безпеки руху та SSAM не проводилось.

Мета роботи. Порівняння методів оцінки безпеки дорожнього руху на основі використання замісних показників, отриманих за допомогою програм інтелектуального відеоаналізу руху та SSAM-підходу.

Об'єкт дослідження – методи оцінки безпеки руху, що використовуються програмою інтелектуального відео аналізу руху та SSAM.

Предмет дослідження – замісні показники безпеки руху – «час до зіткнення» (TTC) та «час після вторгнення» (PET).

Задачі дослідження:

1. Розробити загальну методику порівняльного аналізу методів оцінки безпеки дорожнього руху на основі використання замісних показників, отриманих за допомогою програм інтелектуального відеоаналізу руху та SSAM-підходу.
2. Аналіз замісних показників безпеки руху (TTC, PET), отриманих у результаті постобробки відеозапису руху на перехресті за допомогою програми інтелектуального аналізу руху DataFromSky.
3. Аналіз безпеки руху за допомогою SSAM за записами траєкторій транспорту з VISSIM-моделі перехрестя.
4. Порівняння отриманих за DataFromSky та SSAM результатів.

Методи дослідження. Аналіз, класифікація, відеообробка, штучний інтелект, імітаційне мікромоделювання, порівняння, статистичний аналіз.

Практична цінність. Розвиток та поглиблення уявлень про сучасні методи оцінки безпеки дорожнього руху за допомогою програм автоматизації аналізу руху.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 22 рисунків, 3 таблиць, списку літератури з 33 джерел на 52 сторінках машинописного тексту.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ

1.1. Технологія комп'ютерного зору для автоматизації оцінки безпеки руху

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щороку через дорожньо-транспортні пригоди помирає близько 1,24 мільйона людей [161], окрім ще 50 мільйонів, які отримують серйозні травми, що додатково спричиняє глобальні витрати в 518 млрд. доларів США, які складають від 1 до 3% валового внутрішнього виробництва товар з усіх країн світу.

Майже 80% усіх видів дорожньо-транспортних пригод (ДТП) включають втому, сонливість або відволікання водія, загалом, які можна класифікувати терміном «неуважне водіння», протягом останніх 3 с до виникнення аварії [30]. Неуважність водія є фактором, що сприяє 93% усіх зіткнень ззаду, що підтверджується дослідженням [25]. Ці дані суперечать, водночас, деяким попереднім дослідженням, які лише показали низький рівень внеску (25%) відволікання уваги водія.

Одночасна оцінка небезпеки для водія та дорожнього руху виділяє важливість досліджень та розробки вдосконалених систем допомоги водієві (ADAS), зосереджуючи увагу на «поведінці водія».

Як правило, ADAS може включати набір активних систем безпеки, які працюють разом для підвищення безпеки водія, пасажирів, пішоходів та інших учасників дорожнього руху [20]. Завдання полягає у визнанні критичних ситуацій водіння шляхом сприйняття транспортного засобу чи водія, що характеризується внутрішніми параметрами, або небезпеки на дорозі, що характеризується зовнішніми параметрами. Менш часто виділяється в цьому контексті врахування погодних умов та освітлення проїзної частини, що характеризуються зовнішніми параметрами.

Внутрішні параметри можуть включати швидкість транспортного засобу, кут повороту або рівень обізнаності водія. Транспортний засіб при цьому оснащений різними датчиками для контролю дорожнього стану або статус водіння.

Зовнішні параметри можуть описувати нерухомих або рухомих транспортних засобів, межі доріг, дорожні знаки та вразливих учасників дорожнього руху, таких як пішоходів та велосипедистів.

Освітлення (вдень або вночі) або погодні умови можуть бути змодельовані по зовнішнім параметрам, які можуть сильно вплинути на точність і продуктивність ADAS.

Різні пов'язані один із одним предметні галузі використання систем безпеки та допомоги водієві включають розпізнавання дорожніх знаків [7], виявлення смуги руху [3], виявлення пішоходів [6], виявлення транспортних засобів [3] та моніторинг поведінки водія [21], включаючи втому водія, виявлення відволікання. Цим питанням присвячені численні публікації.

Моніторинг водія поставляється з декількома труднощами, пов'язаними зі складним характером поставленої задачі. Проблеми можуть бути варіаціями в масштабі, позі, напрямку, виразі обличчя, умовами освітлення або наявністю оклюзії.

До розпізнавання обличчя існують різні підходи, які можна класифікувати на чотири категорії [14]:

- методи, засновані на знаннях, які використовують деякі визначені (таким чином, «засновані на знаннях») правила оцінки деяких загальних рис обличчя, які існують у будь-якому «типовому» обличчі;

- інваріантні до особливостей методи, які використовують деякі структурні особливості для обличчя, так що у випадку успіху вони можуть виявити обличчя в різних положеннях або при його обертанні;

- методи узгодження шаблонів, які використовують кілька вибраних візерунків для всього обличчя, візерунки частин обличчя та окремі риси обличчя

(наприклад, очі, ніс або рот) як еталон для виявлення обличчя; потім кореляція вхідних даних зображення із збереженими візерунками перевіряється для підтвердження або відхилення зображення як обличчя.

– методи, що базуються на зовнішньому вигляді, використовують набір даних обличчя, щоб вивчити варіації викривлення. Процес навчання програми базується на загальних фотометричних особливостях об'єкту, і базується на колективному наборі зображень обличчя в різних положеннях.

ДТП в основному трапляються через відволікання уваги водія, сонливість або втому, коли водій не дотримується безпечної відстані від ведучого автомобіля.

У дослідженні [24] розглядаються 19 категорій аварій, таких як наїзд ззаду, лобове зіткнення, наїзд на пішохода, наїзд на тварину, перекидання, плюс їх внесок з точки зору загальної кількості нещасних випадків, смертельних випадків, травм та втрати майна. Порівняно з 18 іншими типами зіткнень, тип ДТП «наїзд ззаду» має найвищий рівень травматизму (30,9%), рівень смертності 5,6%, а також найвищий відсоток майнових втрат (32,9%) серед усіх видів транспортних пригод.

Підтримуючи раннє виявлення та попередження транспортних засобів, можна надати більше часу для водія вжити відповідних безпечних заходів для вирішення конфліктів, пов'язаних із проблемою керування автомобілем, а отже, зменшують ймовірність наїзду ззаду.

Багато дослідників вже розробили алгоритми комп'ютерного зору, які дозволяють виявляти та локалізувати транспортні засоби на дорозі. Однак більшість методів мають відсутність надійності в складних дорожніх сценах, або дуже дорогі обчислювальні витрати. Це робить багато розроблених методів нереалістичними та непридатними у якості системи допомоги водієві.

Сантос та Коррея [18] використовують техніку виявлення симетрії після віднімання фону на основі вже відомого прогнозованого фону, використовуючи статичну камеру спостереження. Підхід ефективний для виявлення транспортних

засобів у таких випадках, як автостоянка з вже проаналізованим паркувальним фоном; він не підходить для невідомого середовища чи дороги.

Чой [26] пропонує оптичний метод виявлення транспортного засобу на основі потоку; хоча, він дає багато пропусків у виявленні, якщо відносна швидкість між транспортними засобами стає близькою до нуля, а дорога має гладку або рівну текстуру.

Зовсім недавня робота Гарсії та співавторів [46] пропонує техніку злиття за допомогою радару та інформації про оптичний потік. Хоча датчик типу радар може мати кілька виявлень для одного і того ж автомобіля, техніка оптичного потоку може виявляти лише обгін транспортних засобів зі значними різницями швидкостей порівняно із спостережувальним об'єктом, що є слабкою стороною методу.

Хасельхоф та інші [16] запровадити техніку з використанням тріангуляції.

Гуанг та Барт [23] використали злиття даних з лідару із даними оглядового датчика. Лідар забезпечує високу роздільну здатність, але розріджений діапазон інформації з дуже обмеженими можливостями розпізнавання об'єктів. Детектор транспорту (Гаару) використовується для обробки записаного датчиком камери зображення, але тільки всередині попередньо визначеної області, розрахованої на основі даних лідару. Такий підхід до синтезу може збільшити визначеність виявлення. Однак стандартний детектор транспорту Гаару може легко виходять з ладу в темних, галасливих або інших неідеальних ситуаціях освітлення. Тому для таких випадків дані лідару також не можуть прийти на допомогу.

Алі та Афгані [13] та Хан забезпечують виявлення транспортних засобів на основі тіні. Однак відтінки від транспортних засобів не є достовірними показниками існування самого транспортного засобу. Тінь змінюється за розмірами та положенням транспортного засобу; низьке сонце викликає тривалу тінь, в багатьох випадках набагато довша фактичної ширини транспортного засобу, якою вона є, також падаючи на бік транспортного засобу. На нерівних дорогах (наприклад, вгору) тіні під транспортним засобом часто взагалі не видно.

Нгуєн та ін. [18] використовувати стереобачення та генетичний алгоритм; у роботі [18] використовуються стерео зор та тривимірні (3D) функції. Обидва методи виводять інформацію про глибину, представлену на карті нерівності, і застосовують зворотне відображення перспективи. Однак повідомлення про виявлення особливостей не підтримує акуратне розрізнення транспортних засобів від інших об'єктів (тобто, помилкових спрацьовувань) вночі або у складних дорожніх сценах.

Варгас та інші [28] змогли забезпечити систему виявлення транспортного засобу з використанням віднімання фону на основі принципу «сигма-дельта» для відокремлення рухомих транспортних засобів (переднього плану) від дороги (фон). Камера запису фіксована (тобто встановлена на платформі мобільного телефону). Метод простий та обчислювально економічний, добре підходить для моніторингу щільності руху. Однак метод не в змозі визначити окремі транспортні засоби.

У роботі Девіда Германа [15] представлений новий підхід до одночасного виявлення та відстеження транспортних засобів, що рухаються через перехрестя, на знімках з повітря, отриманих безпілотним літальним апаратом (БПЛА). Детальний аналіз просторового та часового використання перехрестя є важливим етапом для оцінки його проекту та подальшої перевірки дорожнього руху. Потік транспорту на перехрестях, як правило, дуже динамічний і вимагає постійних і точних систем моніторингу. Звичайне спостереження за дорожнім рухом базується на наборі нерухомих камер або інших детекторів, що вимагає високої щільності згаданих пристроїв, щоб повністю контролювати перехрестя та забезпечувати достатню якість даних. Крім того, БПЛА можна перетворити на дуже рухливу та чуйну мобільну платформу зондування для збору даних із таких великих сцен. Однак ручна анотація транспортного засобу на аерофотознімках вимагала б величезних зусиль. У цій роботі запропонована комбінація виявлення та відстеження транспортних засобів спрямована на вирішення проблеми автоматичного аналізу дорожнього руху на перетині з візуальними даними. Представлений у даній роботі

підхід послужив основою до розробки програмного забезпечення з автоматизації даних дорожнього руху DataFromSky. Це програма інтелектуального аналізу руху із переглядом, створенням та редагуванням даних відстеження транспортних засобів у відеоряді. Аналіз безпеки дорожнього руху використовується для створення списку конфліктів, який можна експортувати для подальшої обробки. Виявлені конфлікти позначаються у робочому просторі [9].

У налаштуваннях «*Модельовання*» можна обрати модель передбачення руху [9]:

- *Вектор швидкості* – спрощений розрахунок прямолінійного руху транспортного засобу, точність розрахунків на криволінійних траєкторіях зменшена;
- *Модель Акермана* – більш точна модель, заснована на врахуванні кута коліс, з цієї причини розрахунок займає більше часу;
- *Урахування прискорень об'єктів руху* – 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*) [30].

- *Час до зіткнення (TTC)* визначає, за скільки секунд транспортні засоби зіткнулися б, якби вони рухались зі сталою швидкістю та напрямком. Встановлюється різниця між мінімальними швидкостями двох транспортних засобів, і якщо ця різниця менша за вказане порогове значення, розрахунок для цієї пари транспортних засобів не проводитиметься. Порогова величина встановлює, за скільки секунд визначається різниця швидкостей, яка повинна принаймні дорівнювати мінімальному значенню. Виявлені конфлікти позначаються як лінії, які показують місце розташування та кут, під яким виникають зіткнення, прямокутники вказують положення транспортних засобів.

- *Час після вторгнення (PET)* – це різниця між часом, за який транспортний засіб потрапляє в конфліктну точку, та часом, поки інший транспортний засіб 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 транспортний засіб повинен здійснювати гальмування для того, щоб це враховувати. Виявлені конфлікти представляються як лінії, які показують шлях, на якому гальмування перевищує порогову величину.

Алгоритм аналізу безпеки руху в програмі DataFromSky представлений на рис.1.1.



Рис.1.1. Основні етапи автоматизованого аналізу показників безпеки руху із використанням DataFromSky

Слід зауважити, що до того, як експортувати результати аналізу безпеки руху необхідно виставити порогові величини часу до зіткнення та часу після вторгнення.

Аналіз безпеки руху в DataFromSky позиціонується як додатковий інструмент до загальної статистичної звітності по ділянкам транспортних мереж. Результати аналізу носять прогностичний характер і краще за все потребують додаткової верифікації з фактичними даними по місцям концентрації ДТП.

1.2. Автоматизація аналізу безпеки руху за допомогою підходу VISSIM/SSAM

Замісні показники безпеки руху безпосередньо пов'язані із процедурою визначення виникаючих конфліктів ТЗ на об'єктах транспортної мережі. До замісних показників безпеки дорожнього руху відносяться:

- затримка транспортних засобів;
- показник середньої швидкості;
- відсоток транспортних засобів, що зупинились на перехресті;
- середня довжина черги ТЗ;
- кількість проїздів на забороняючий сигнал світлофору;
- відсоток лівоповоротних потоків;
- розподіл швидкості руху потоку;
- закон розподілу прискорення потоку.

Конфліктні методи дозволяють транспортним інженерам досліджувати небезпечні місця в транспортній мережі без необхідності отримувати статистичні дані про ДТП. Ці методи є найбільш розробленим непрямим показником безпеки дорожнього руху. Концепція цих методів базується на здатності ідентифікувати випадки близьких аварій, а отже, пропонує більш швидкий і, багато в чому, більш репрезентативний спосіб оцінки очікуваної частоти аварій та їх наслідки. Одним із

способів вивчення конфліктів є використання мікроскопічних моделей. Модель оцінки сурогатної безпеки (SSAM), модель, розроблена Федеральним управлінням автомобільних доріг (США) [30], використовує змодельовані траєкторії руху автомобілів для дослідження типів конфліктів, їх тяжкості та місць розташування (рис.1.2). Це дослідження досліджує доцільність використання SSAM для виявлення та класифікації транспортних конфліктів між транспортними засобами та пішоходами шляхом аналізу змодельованих траєкторій. Дорожній рух, як правило, моделюється за допомогою VISSIM. У роботі [31] модельовані транспортні траєкторії на перетині, регульовані світлофором у місті Доха, сформовані та проаналізовані за допомогою SSAM. Потім результати порівнювали із реальними конфліктами, отриманими з відеоданих, зібраних на тому ж перетині, на основі критеріїв часу до зіткнення. Незважаючи на те, що результати вказують на багато подібності між спостережуваними та змодельованими конфліктами, виявлено, що результати моделювання завищують ризик зіткнення, особливо у випадку з пішоходами. Результати також вказали на те, що імітаційний підхід здатний виявляти конфлікти, пов'язані зі спеціальними маневрами, такими як злиття та розбіжність на перехрестях.

Розмір області дослідження визначається розміром імітаційної моделі, екстрагованої з файлу траєкторії (файл «.TRJ»). Область аналізу розбивається на прямокутники, які утворюють сітку (рис.1.3), що дозволяє зменшити кількість порівнянь взаємодій між ТЗ для виявлення можливих конфліктів. Положення кожного ТЗ визначається в залежності від швидкості руху даного ТЗ розраховується до моменту порогової величини часу до зіткнення. Шлях руху визначається як набір окремих векторів та передбачається для кожних наступних періодів часу. Порогове значення часу до зіткнення визначається зовнішніми налаштуваннями (за замовчуванням дорівнює 1,5 с) [30]. Це пов'язано з тим, що дослідники не вважають впливовими на безпеку руху конфлікти, які виникають за величини часу до

зіткнення більше 1,5 с. Це ж саме стосується й такого замісного показника як «час після вторгнення».

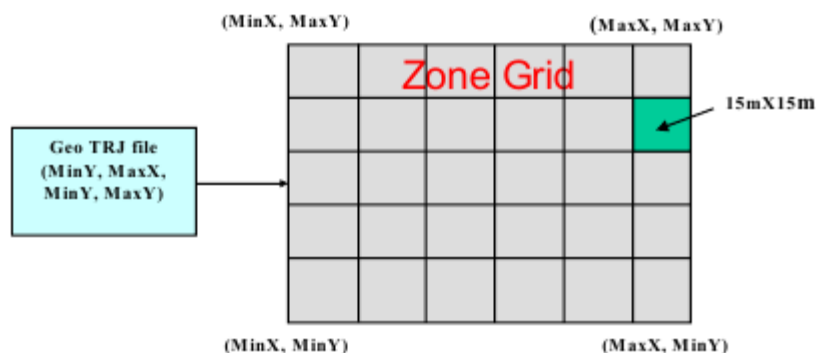


Рис.1.2. Сітка зони аналізу SSAM [30].

Тип конфлікту визначається «кутом атаки» одного ТЗ по відношенню до іншого: якщо під конфлікт підпадає ділянка автомобіля у межах $85 - 180^\circ$, то мова ведеться про «перетин», ділянка автомобіля під кутом $30 - 85^\circ$ – зміна смуги руху, під кутом $0 - 30^\circ$ – наїзд ззаду (рис.1.3) [30].

SSAM дозволяє отримати звіт по агрегованим показникам аналізу (рис.1.4) із представленням кількості конфліктів різних типів відповідно результатів імітаційного моделювання.

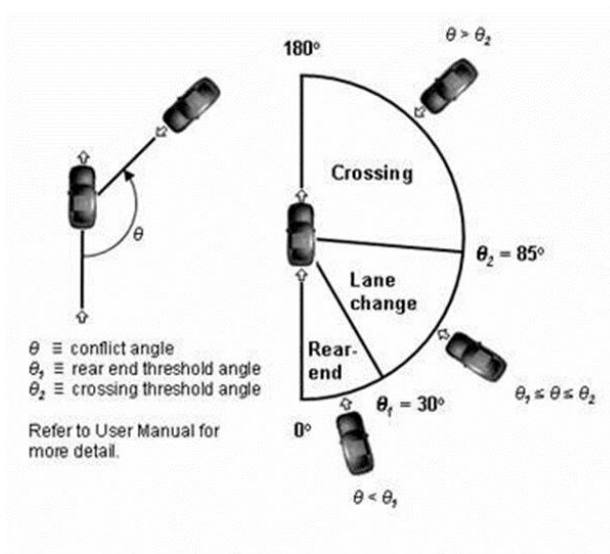


Рис. 1.3. Кутові сектори ураження автомобіля [30]

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	0.10	0.00	0.00
Unfiltered-All F...	PET	0.00	0.10	0.00	0.00
Unfiltered-All F...	MaxS	13.16	16.17	14.69	0.90
Unfiltered-All F...	DeltaS	10.68	23.76	18.69	14.93
Unfiltered-All F...	DR	-6.97	0.24	-0.58	2.51
Unfiltered-All F...	MaxD	-7.23	0.24	-1.12	4.67
Unfiltered-All F...	MaxDeltaV	5.51	14.70	10.49	5.68
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:\v...	TTC	0.00	0.10	0.00	0.00
Unfiltered-C:\v...	PET	0.00	0.10	0.00	0.00
Unfiltered-C:\v...	MaxS	13.16	16.17	14.69	0.90
Unfiltered-C:\v...	DeltaS	10.68	23.76	18.69	14.93
Unfiltered-C:\v...	DR	-6.97	0.24	-0.58	2.51
Summary Group	Total	unclassified	crossing	rear end	lane change
Unfiltered-All F...	20	0	10	1	9
Unfiltered-C:\v...	20	0	10	1	9

Рис.1.4. Приклад зведеного звіту SSAM.

Методика оцінки безпеки руху із використанням підходу SSAM показана на рис. 1.5.

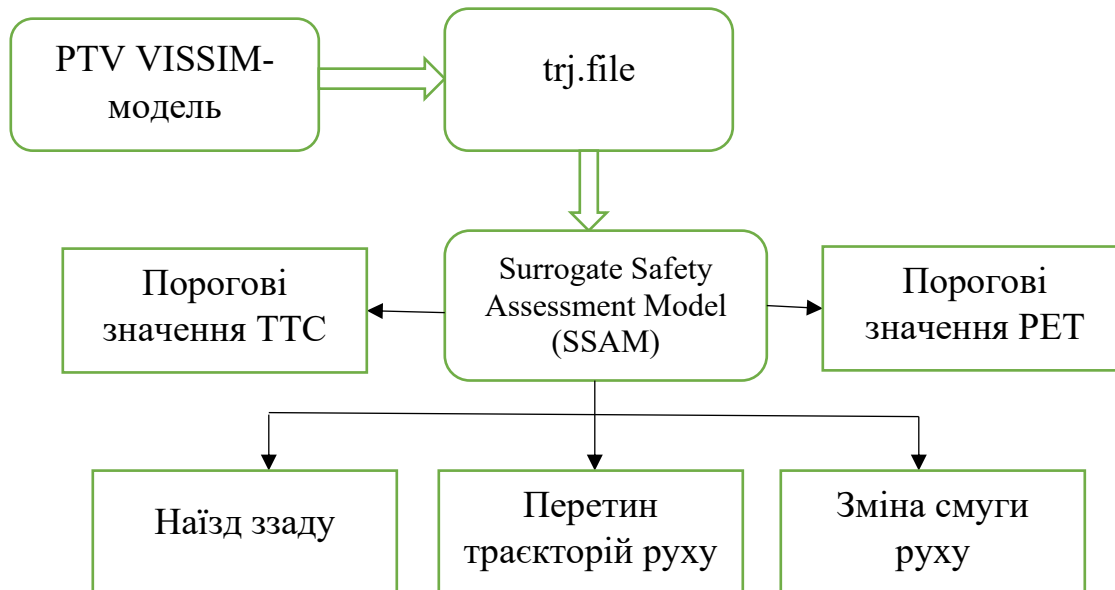


Рис.1.5. Оцінка безпеки руху за допомогою SSAM.

Зі створеної VISSIM-моделі перехрестя проводиться експорт файлу траєкторій руху ТЗ (.trj), який відповідає поточній імітації. Отриманий файл завантажується в програму SSAM, де виставляються порогові значення TTC та PET.

У зведеному звіті SSAM отримаємо як кількісні показники по кожному із трьох типів конфліктів, так і статистику значень замісних показників TTC та PET. Теплова карта конфліктів є ще однією з опцій програми.

1.3. Загальна методика досліджень

Методика досліджень полягає у порівнянні двох автоматизованих методів оцінки безпеки руху, та схематично зображена на рис.1.6. Спочатку проводяться відеозйомка дорожнього руху на перетині. Отриманий відеофрагмент завантажується у середовище платформи DataFromSky. Після обробки, в одержаному файлі (протоколі трасування) проводиться налаштування конфігурації позначення відеофрагменту. Результати автоматизованого підрахунку інтенсивності руху ТЗ , у тому числі, у вигляді матриць зародження-призначення служать вхідними параметрами для імітаційної моделі перехрестя в VISSIM. В DataFromSky проводиться аналіз безпеки руху із визначенням списку конфліктів та замісних показників TTC та PET, порогові значення яких встановлюються заздалегідь.

Створюється імітаційна модель перехрестя із налаштуванням опції запису файлу траєкторії. Вихідний файл траєкторії використовується в програмі SSAM, в якій попередньо встановлюються такі ж, як і в DataFromSky, значення порогових величин TTC та PET.

Після аналізу файлу траєкторії в SSAM, отримуємо список конфліктів за типами та замісні показники безпеки, які порівнюємо з тими, що визначенні за допомогою DataFromSky.

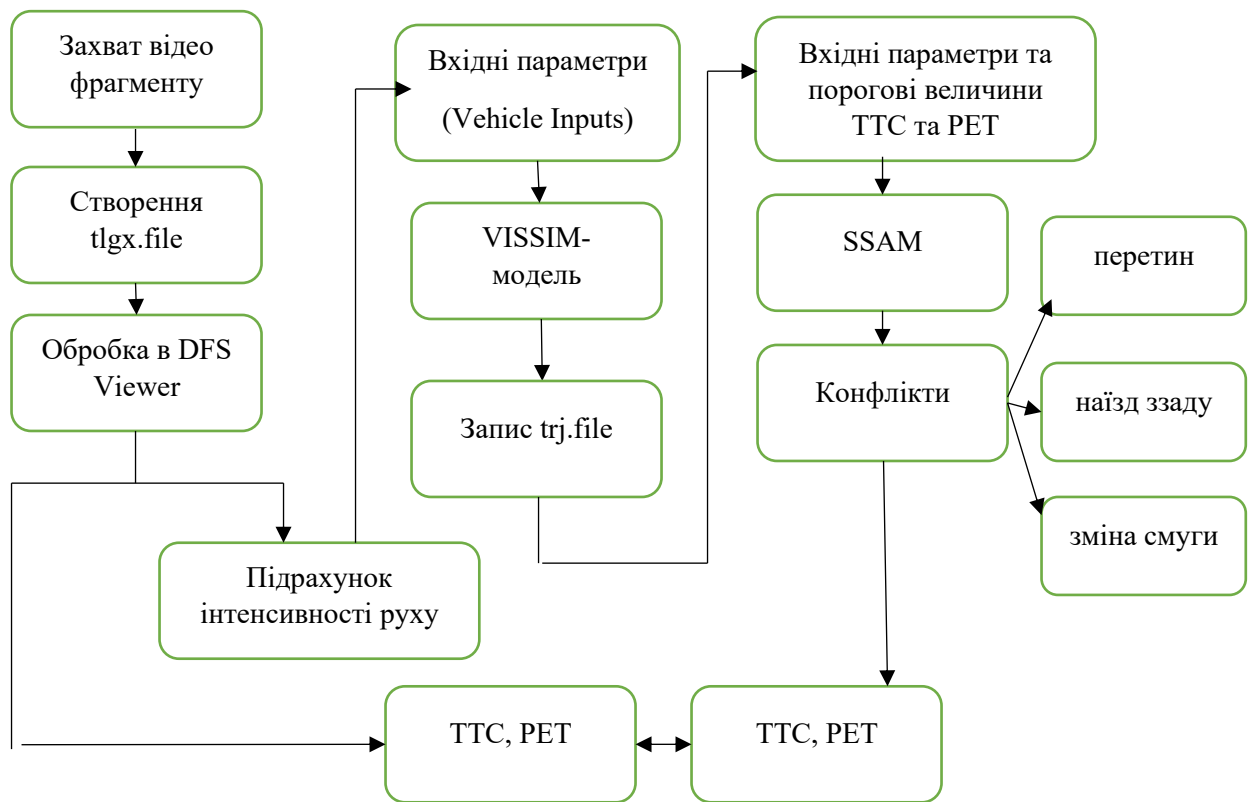


Рис.1.6. Загальна методика дослідження

1.4. Висновки до розділу 1

У роботі представлено загальну методику оцінки безпеки дорожнього руху із використанням методів автоматизованого аналізу транспортних розв'язок. Основна ідея методики полягає у порівнянні замісних показників безпеки руху, отриманих у результаті відеоаналізу дорожнього руху на перехресті, із замісними показниками, отриманими у результаті моделювання в SSAM. Для реалізації даного підходу необхідні:

- збір вихідних даних на перехресті у вигляді запису відеороліку, в якому надійно прослідковуються усі напрямки руху транспорту;
- обробка отриманого відео в програмі інтелектуального аналізу руху DataFromSky;
- проведення аналізу безпеки руху за допомогою DataFromSky;

- створення імітаційної моделі перехрестя за допомогою мікроімітаційного моделювання у програмі VISSIM від PTV group, в якій вхідними параметрами по інтенсивності транспортних навантажень виступатимуть визначені в DataFromSky матриці зародження-призначення;
- обробка файлу траєкторії руху з VISSIM у програмному середовищі SSAM із встановленням порогових значень для замісних показників часу до зіткнення та часу після вторгнення відповідно до порогових значень для даних показників в DataFromSky;
- порівняння списків конфліктів за DataFromSky та SSAM;
- порівняння замісних показників за DataFromSky та SSAM.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1. Загальна характеристика перетину

У даній роботі для дослідження приймалися дві ділянки: перетин вулиць П. Дорошенка та Героїв АТО та кільцева розв'язка проспекту Гагаріна, Дніпровського шосе та вулиці П. Дорошенка (кільце Автовокзалу) у місті Кривий Ріг. Перетин вулиці П. Дорошенка та Героїв АТО за даними Патрульної поліції є місцем концентрації дорожньо-транспортних пригод. Причиною є неузгодженість світлофорного регулювання при повороті наліво (червона стрілка на рис.2.1) з вулиці Героїв АТО у напрямку Автовокзалу та проспекту Гагаріна. Обстеження кільцевої розв'язки проспекту Гагаріна, Дніпровського шосе та вулиці П.Дорошенка обумовлено необхідністю визначення входу/виходу для потоків з боку Автовокзалу на досліджуване перехрестя.

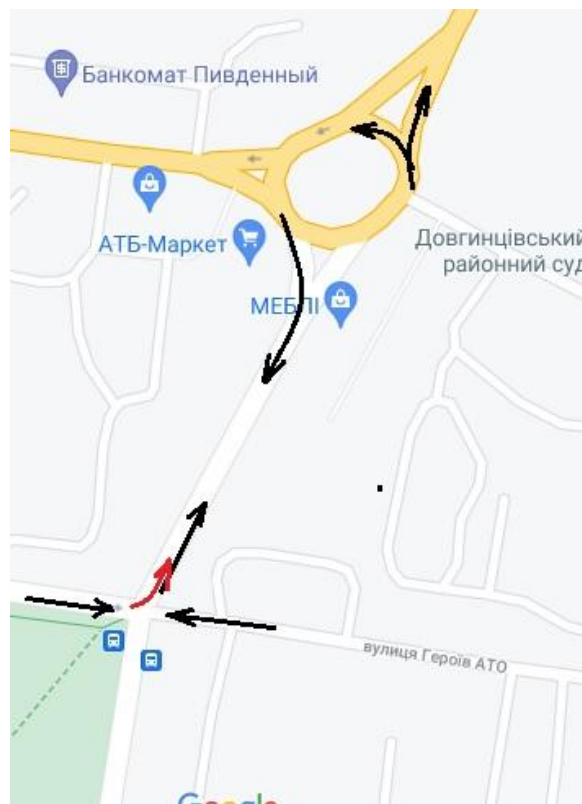


Рис.2.1. Досліджувана ділянка та основні транспортні потоки на ній

Рух по вулиці Героїв АТО до перехрестя (збоку вулиці В. Матусевича) односторонній, після перехрестя – ця вулиця має по одній смузі руху у протилежних напрямках.

Через перетин проходять маршрути автобусів, які працюють у режимі маршрутного таксі, під номерами №15, 306 (по вулиці П.Дорошенка).

2.2. Параметри вихідного відеозапису дорожнього руху на досліджуваному перетині

Відеозапис отримано з БПЛА DJI Mavic Air 2 . Частота кадрів вихідного відео становила 59,9 кадрів/с, роздільна здатність відеопотоку – 1980 на 1080 пікселів, що відповідає технічним умовам розробника програмного забезпечення DataFromSky. Тривалість відеоролику – 15 хвилин. Результати інтелектуального відеоаналізу руху полягали у визначенні інтенсивності руху із класифікацією по кожному типу автомобільного транспорту та аналіз показників безпеки руху із використанням сурогатних показників, описаних у розділі 1. Показники інтенсивності руху використані для розбудови імітаційної моделі перетину.

2.3. Обстеження інтенсивності руху на кільцевій розв'язці проспекту Гагаріна, Дніпровського шосе та вулиці П. Дорошенка

Обстеження інтенсивності руху проводилось у пікові години доби (з 16-20 до 18-00) з агрегуванням показників в інтервалі 20 хвилин силами двох обліковців для можливості одночасного відстеження розщеплення потоку по вулиці П.Дорошенка убік проспекту Гагаріну та у напрямку Дніпровського шосе та підрахунку розподілу інтенсивності з проспекту Гагаріну убік вулиці П. Дорошенка.

Підсумок результатів обстеження наведено у таблиці 2.1, з якої можна бачити, що основний рух транспорту проходить з вулиці П.Дорошенка убік Дніпровського шосе, що підтверджує важливість вивчення лівоповоротних потоків по вулиці Героїв АТО убік Дніпровського шосе.

Табл.2.1

Результати польових обстежень інтенсивності руху на кільцевій розв'язці*

Час доби	Напр.	Вело	Мото	Легкові автомобілі	Вантажні автомобілі			Громадський транспорт		Сума
					до 3,5 т	Більше 3,5 т	Довгомір	Маршр	Автобус	
16:20	1-3	1	1	23	2	0	0	0	0	27
	3-1	0	0	12	1	0	0	0	0	13
	3-2	0	0	173	10	2	0	2	1	188
16:40	1-3	1	1	30	1	0	0	0	1	34
	3-1	0	0	18	1	0	0	0	0	19
	3-2	5	0	213	7	0	0	3	0	228
17:00	1-3	0	0	27	2	0	0	0	0	29
	3-1	0	0	9	1	0	0	0	0	10
	3-2	1	0	186	11	0	1	2	0	201
17:20	1-3	0	0	23	1	0	0	0	1	25
	3-1	0	0	11	1	0	0	0	0	12
	3-2	2	0	200	7	0	0	3	1	213
17:40	1-3	1	0	34	2	0	0	0	1	38
	3-1	0	0	8	0	0	0	0	0	8
	3-2	0	1	178	9	0	0	1	0	189
18:00	1-3	0	0	25	0	0	0	0	0	25
	3-1	0	0	9	0	0	0	0	0	9
	3-2	3	2	172	7	1	0	3	0	188

*– напрямки 1-3 – з проспекту Гагаріна до вул. П. Дорошенка; 3-1– з вул. П. Дорошенка убік проспекту Гагаріна; 3-2 – з вул.

П. Дорошенка убік Дніпровського шосе

Дані таблиці 2.1 у подальшому використані для калібрування даних OD-матриць, отриманих за допомогою інтелектуального відеоаналізу руху в DataFromSky. Розподіл інтенсивності руху за часом доби показаний на рис.2.2.

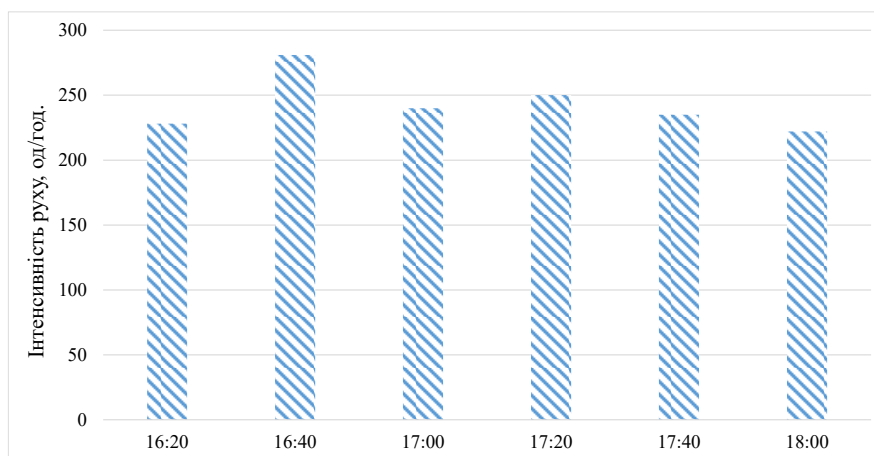


Рис.2.2. Розподіл інтенсивності руху автотранспорту на ділянці

2.4. Автоматизована оцінка безпеки руху за допомогою DataFromSky Viewer

Після проведення аналізу безпеки руху у програмі DataFromSky Viewer з'являється список конфліктів. Програмою надається інформація про всі виявлені конфлікти, які упорядковуються від найбільш тяжких до найменш критичних. Пороговим значенням для TTC обрано 1,5 с, для PET – 5 с. Для визначення замісних показників безпеки руху TTC та PET використано модель Акермана, як більш точну у порівнянні із моделлю на основі вектору швидкості (розділ 1).

Окрім середнього значення TTC та PET, програмою визначаються додаткові замісні показники безпеки для кожного виявленого конфлікту, що визначається перетином траєкторій руху ТЗ.

До них відносяться [9]:

- *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.

- *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.

На перехресті за допомогою DataFromSky Viewer виявлено 15 можливих конфліктів, з яких 4 характеризуються значенням TTC у 0,02 с. Це значення одночасно є найгіршим серед всього діапазону виявлених TTC. В основному конфлікти відбуваються між легковими автомобілями. Напрямами руху, які перетинаються із високою частотою випадків, є повороти ліворуч по вулиці Героїв АТО на вулицю П. Дорошенка убік Дніпровського шосе.

За показником PET виявлено 12 потенційних конфліктів. Найбільша кількість випадків – від 30 до 35, за яких значення показника PET знаходиться у діапазонах від 0,63 с до 4,8 с. Нульове значення показника означає виникнення конфлікту, таких випадків виявлено двоє. Перегляд відеоряду показав, що для цих випадків із нульовим значенням PET, конфліктів при взаємодії ТЗ не виникало.

2.5. Розробка імітаційної моделі кільцевої розв'язки.

Реалізація моделі перехрестя проводиться за допомогою програми мікромодельовання транспортних потоків PTV VISSIM. Програма моделювання транспортних потоків VISSIM складається із чотирьох структурних блоків: інфраструктурні об'єкти; організація дорожнього руху; дорожній рух; оцінка результатів.

Програма PTV VISSIM є комплексом інструментів, за допомогою яких можна побудувати моделі перехресть, регулювання яких відбувається за допомогою світлофорів або встановленням пріоритетів, також транспортних розв'язок з метою аналізу пропускної здатності транспортних мереж. У програмі запропоновано низку функцій, за допомогою яких можливо зафіксувати час проїзду

того чи іншого маршруту, відстежити причину утворення пробок. Також в даному програмному забезпеченні можливо виставити потік пішоходів і їх напрямок з метою аналізу їх поведінки на даній ділянці. У PTV VISSIM є можливим 3D і 2D режими перегляду імітації руху.

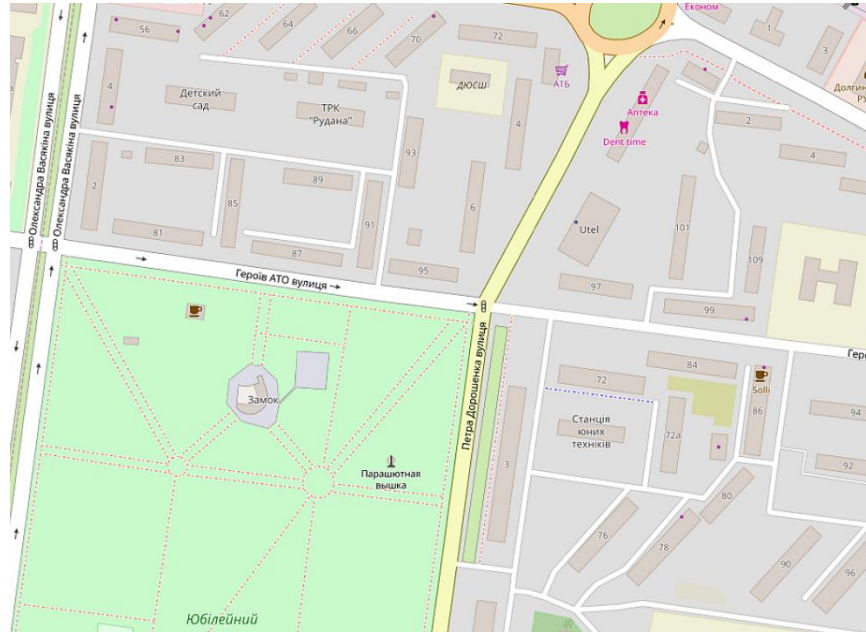


Рис.2.3. Схема перехрестя вулиці Героїв АТО та вулиця Петра Дорошенка в Open GL map

Завдання, які необхідно було виконати за допомогою даного програмного забезпечення складають загальну методику аналізу досліджуваної транспортної розв'язки. Нижче наведено список завдань:

1. Побудова моделі дорожнього полотна на фоні карти перехрестя, що розглядається, яка представлена в програмі PTV VISSIM.
2. Нанесення на дорожнє полотно транспортних потоків і їх маршрутів.
3. Встановлення інтенсивності транспортних потоків (визначення кількості транспортних засобів за одиницю часу) відповідно до OD-матриць DataFromSky.
4. Нанесення на дорожнє полотно пішохідних переходів з подальшим визначенням пішохідних потоків і їх напрямків.
5. Встановлення пріоритетів руху згідно правил дорожнього руху (ПДР).

7. Побудува світлосигнальних установок регулювання з встановленням усіх фаз.

8.Запуск пробної імітації моделі для аналізу побудованого перехрестя.

9.Формування списку результатів з необхідних для аналізу параметрів.

Детально розглянемо п. 5. Проїзд ТЗ на перехресті характеризується неминучим перетином транспортних потоків, що в свою чергу викликає їх конфлікти. Простими словами, відбувається сутичка між ТЗ, ТЗ і пішоходами. VISSIM визначає право пріоритетного проїзду конфліктних місць за допомогою виділення конфліктних зон. Конфліктні зони можна визначити всюди, де два відрізки перетинають один одного. Для кожної конфліктної зони може бути обраний відрізок, який має пріоритет, конфліктна зона також може бути пасивною і не мати ніякого впливу на транспортні засоби. Для усунення зіткнень необхідно встановити правила пріоритету для конфліктуючих напрямків руху згідно ПДР. Вирішити це питання можливо за допомогою функції «Конфліктні зони». Приклад встановлення пріоритетів руху на обраній ділянці показано на рис.2.4.

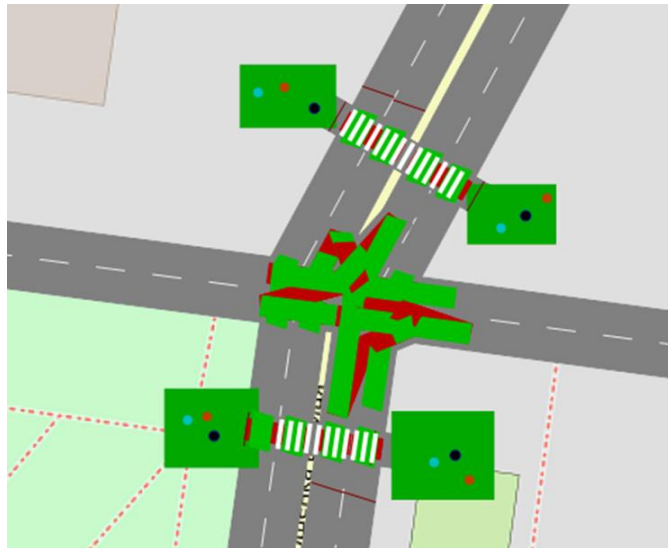
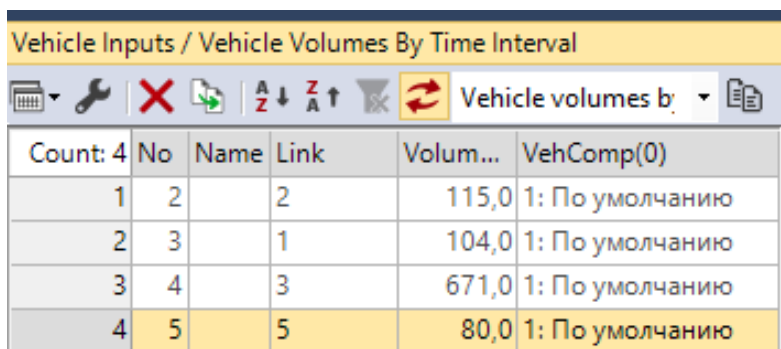


Рис.2.4. Приклад встановлення пріоритетів руху

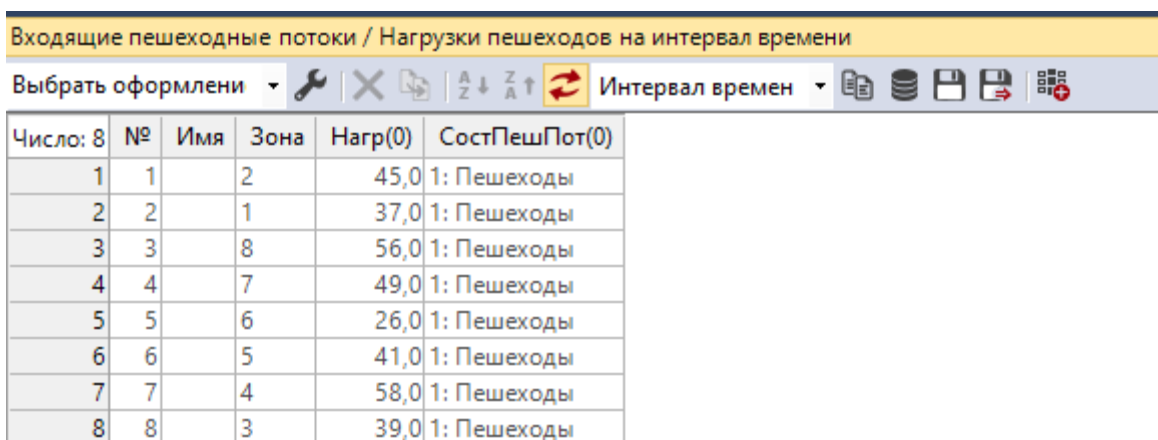
За допомогою функції «*Vehicle inputs*» задається напрямок і склад вхідних транспортних потоків. За замовчуванням склад ТЗ складається з автомобілів, вантажних машин, автобусів. Також необхідно задати інтенсивність транспортних потоків.

Для пішохідних потоків ситуація аналогічна, тільки вже використовуючи функцію «*Pedestrian Inputs*». Приклад завдання інтенсивності потоків ТЗ та пішоходів показано на рис.2.5 а), б).



Count: 4	No	Name	Link	Volum...	VehComp(0)
1	2		2	115,0	1: По умолчанию
2	3		1	104,0	1: По умолчанию
3	4		3	671,0	1: По умолчанию
4	5		5	80,0	1: По умолчанию

Рис.2.5 а) Приклад встановлення інтенсивності – потоків ТЗ



Число: 8	№	Имя	Зона	Нагр(0)	СостПешПот(0)
1	1		2	45,0	1: Пешеходы
2	2		1	37,0	1: Пешеходы
3	3		8	56,0	1: Пешеходы
4	4		7	49,0	1: Пешеходы
5	5		6	26,0	1: Пешеходы
6	6		5	41,0	1: Пешеходы
7	7		4	58,0	1: Пешеходы
8	8		3	39,0	1: Пешеходы

Рис.2.5 б). Приклад встановлення інтенсивності – пішоходів

Маршрут – це фіксована послідовність відрізків і сполучних відрізків від місця вирушення маршруту (фіолетова лінія) до місця призначення (бірюзова лінія). Маршрут може мати будь-яку довжину – від маршруту, що визначає рух транспортних засобів на перехресті, до маршруту, який простягається через всю вулично-дорожню мережу. Напрямок маршруту ТЗ може нести у собі всі напрямки

і навіть розворот. Для розглянутої ділянки були задіяні всі варіанти напрямків крім розвороту, тому що в ньому не було необхідності.

Приклад встановлення маршрутів на даній ділянці наведено на рис.2.7.

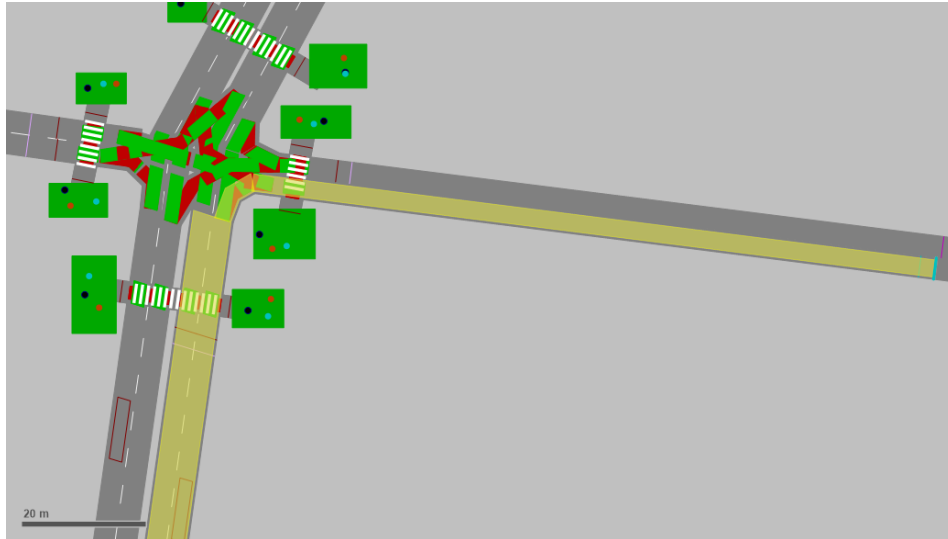


Рис.2.6. Приклад встановлення маршрутів ТЗ

Змодельовати напрям пішохідних потоків можливо за допомогою функції «*Pedestrian Routes*». Маршрути руху пішоходів щодо розглядаємої ділянки приведені на рис.2.8.

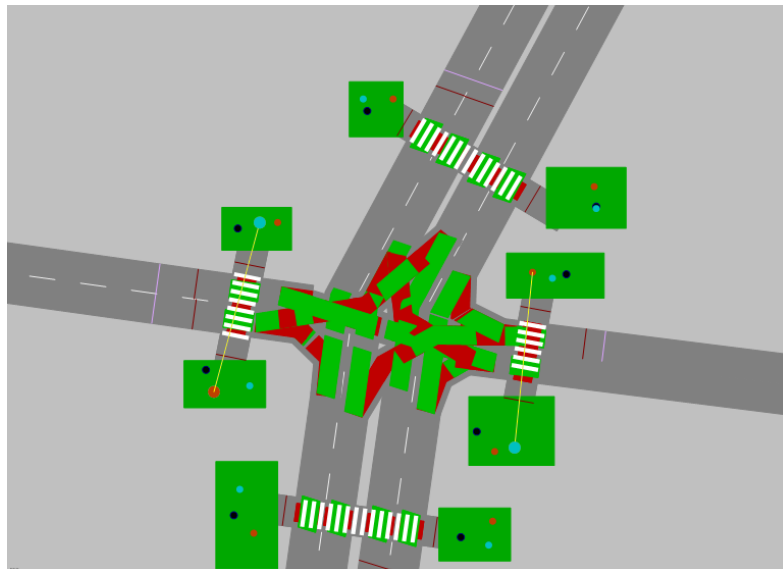


Рис.2.7. Приклад встановлення маршрутів руху пішоходів

У VISSIM кожен світлофор представлений індивідуальним номером (сигнальний пристрій) і набором груп сигналів. Для введення нового світлофора

потрібно створити сигнальну програму. Для цього необхідно зайти в «*Signal Control/ Signal Controllers ...*». Внизу екрана з'явиться вікно, де для введення нового світлофора необхідно натиснути правою кнопкою миші і вибрати «*Add*».

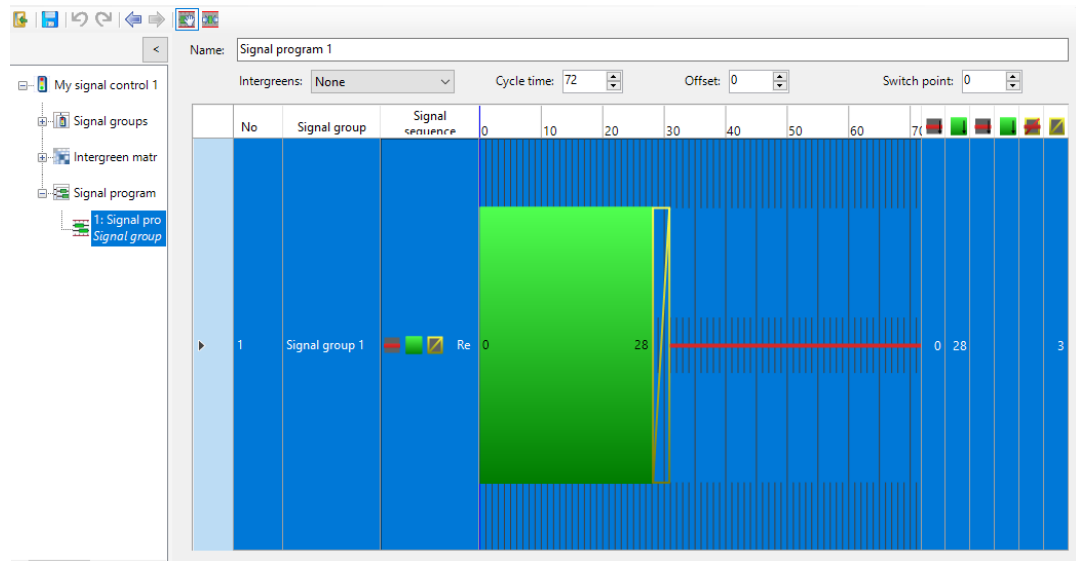


Рис.2.8. Приклад створення світлосигнальної установки для автомобілів

У вікні можна задавати параметри нового світлофора:

«*No*» - номер світлофора;

«*Name*» - назва світлофора;

«*Cycle Time*» - тут вказується значення світлофорного циклу в с;

«*Type*» - за допомогою даної опції визначається тип світлофора і стратегія управління. Від типу світлофора залежать інші його характеристики;

«*Variable*» - дана опція використовується для всіх типів світло фора, крім фіксованого;

«*Offset*» - тут вказується значення в секундах, яке затримує перший і відповідно наступні цикли світлофора. Для введення нової групи сигналів необхідно у вікні вкладки «*Fixed Time*» натиснути кнопку «*Processing*». Далі з'явиться редактор циклу світлофорного регулювання, куди можна вводити всі необхідні параметри. У пункті меню «*My Signals*» введіть: «*Name*» - назва даної світлосигнальної установки;

«Description» - можна залишити коментар або позначку, стосовно даного світлофора;

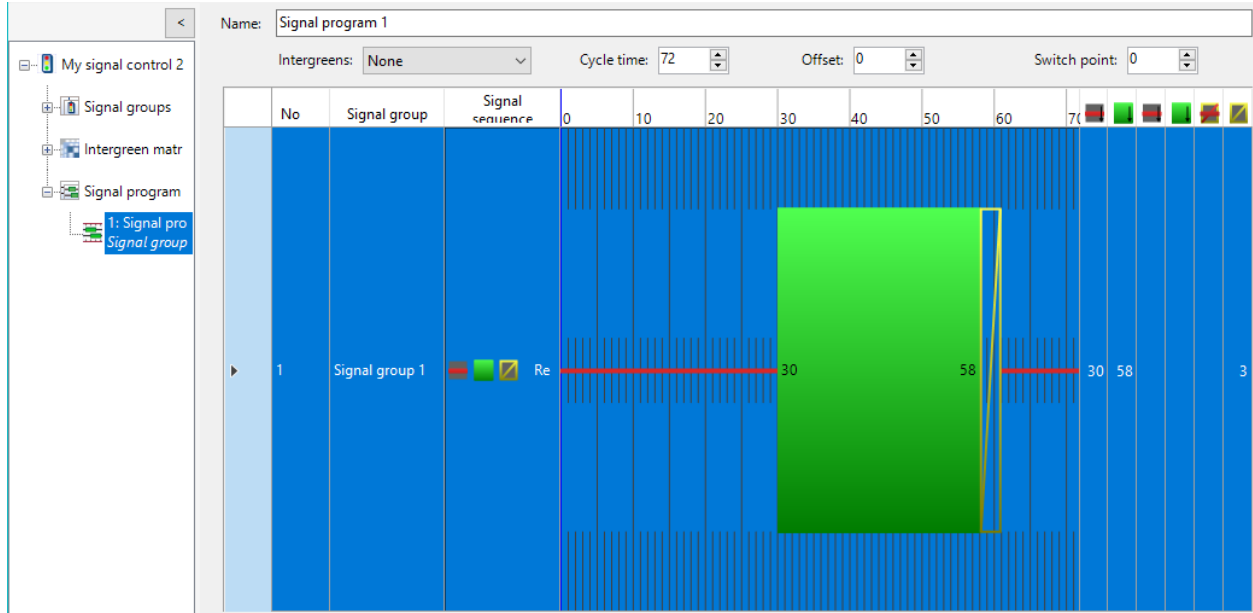


Рис.2.9. Приклад створення світлосигнальної установки для пішоходів

«Частота перекл. РСУ» - кількісно задає частоту перемикання світлосигнальної установки.

Щоб створити нову групу сигналів, обирається пункт «*Signal Group*». Після необхідно створити «*Signal Program*». Для установки сигнального пристрою на дорозі потрібно активувати пункт «*Signals*» в бічній панелі об'єкта мережі. Далі на обраному відрізку потрібно розташувати світлофорний об'єкт і встановити сигнальний пристрій.

Після побудови моделі проглядається пробна імітація, переглянувши яку можна виявити помилки при побудові моделі або переконатися в правильності виконання побудови моделі. Приклад імітаційного руху на перехресті вулиці Героїв АТО та вулиця Петра Дорошенка показано на рис.2.10.

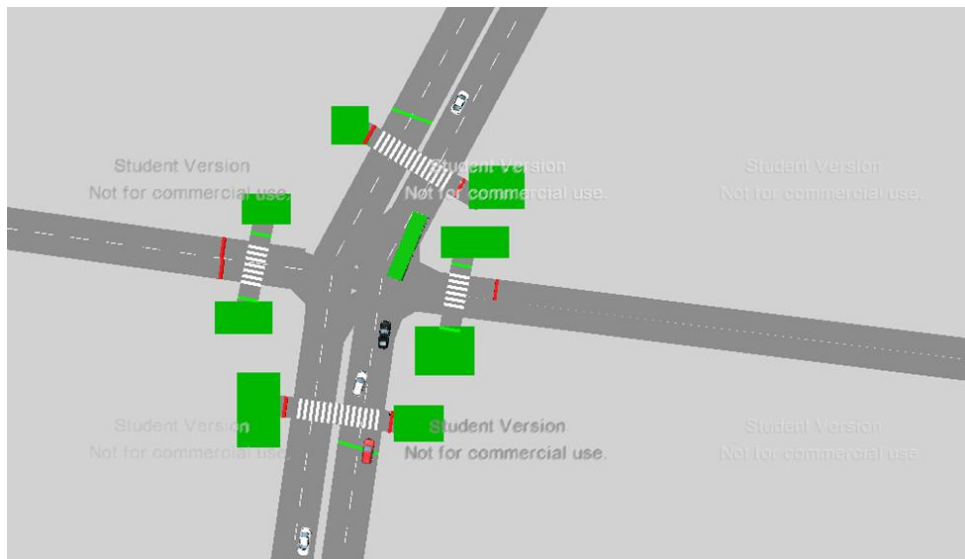


Рис.2.10. Приклад імітаційного руху

Після перегляду імітації йде формування списку результатів у вигляді звіту. Звіт показує необхідність модернізації транспортного вузла. Для збору даних необхідно активувати датчики і лічильники. Датчик «*Vehicle Travel Time*» задається відрізком, який показує тривалість перебування ТЗ. Також необхідно встановити датчик затору «*Queue Counters*» щоб визначити довжину затору і час його утворення (рис.2.11).

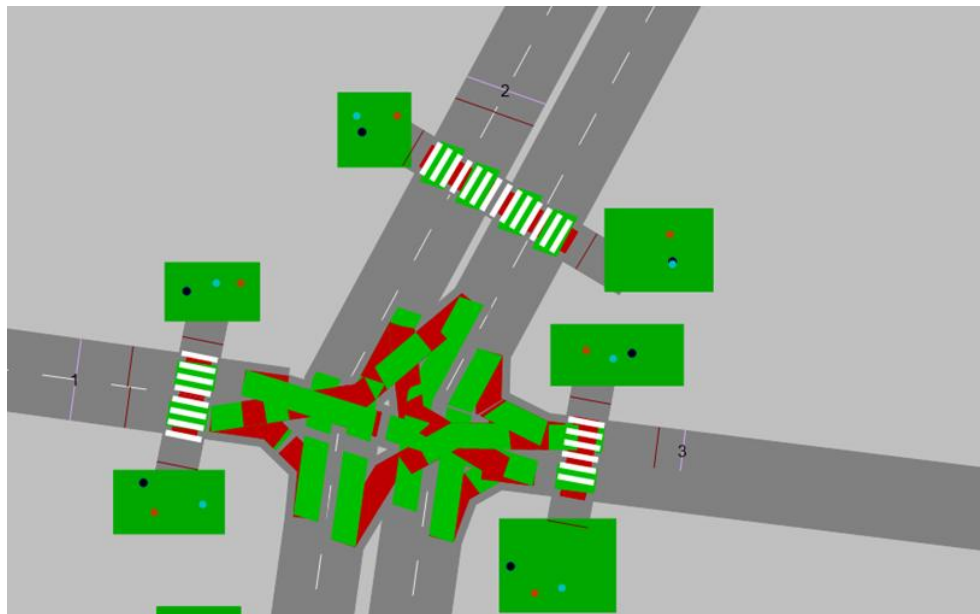


Рис.2.11. Лічильники заторів на перехресті вулиці Героїв АТО та вулиця Петра Дорошенка

Queue Results						
Count	SimRun	TimeInt	Queue...	QLen	QLenMax	QStops
19	14	0-3600	3	0,78	17,53	5
20	14	0-3600	4	0,68	31,43	4
21	Average	0-3600	1	3,25	19,65	14
22	Average	0-3600	2	0,68	8,22	2
23	Average	0-3600	3	0,35	5,44	1
24	Average	0-3600	4	1,29	12,61	3
25	Standa...	0-3600	1	7,20	39,85	32
26	Standa...	0-3600	2	1,40	13,28	3
27	Standa...	0-3600	3	0,48	7,95	2
28	Standa...	0-3600	4	1,48	13,17	3
29	Minim...	0-3600	1	0,00	0,00	0
30	Minim...	0-3600	2	0,00	0,00	0
31	Minim...	0-3600	3	0,00	0,00	0
32	Minim...	0-3600	4	0,00	0,00	0
33	Maxim...	0-3600	1	16,14	90,70	71
34	Maxim...	0-3600	2	3,17	30,51	7
35	Maxim...	0-3600	3	0,96	17,53	5
36	Maxim...	0-3600	4	2,90	31,43	7

Vehicle Travel Time Results					
Count	SimRun	TimeInt	VehicleTravelT...	Vehs(All)	TravTm(All)
34	14	0-3600	6	9	49,45
35	14	0-3600	7	4	56,73
36	Average	0-3600	1	7	53,66
37	Average	0-3600	2	9	51,81
38	Average	0-3600	3	6	65,16
39	Average	0-3600	4	4	55,09
40	Average	0-3600	5	2	50,04
41	Average	0-3600	6	3	52,05
42	Average	0-3600	7	1	57,75
43	Standa...	0-3600	1	12	7,56
44	Standa...	0-3600	2	18	14,69
45	Standa...	0-3600	3	14	
46	Standa...	0-3600	4	5	4,81
47	Standa...	0-3600	5	3	6,50
48	Standa...	0-3600	6	4	3,68
49	Standa...	0-3600	7	2	1,45
50	Minim...	0-3600	1	0	45,19
51	Minim...	0-3600	2	0	42,28
52	Minim...	0-3600	3	0	65,16

Рис.2.12. Результати розрахунку часу в дорозі ТЗ і лічильника заторів

За результатами мікроімітаційного моделювання бачимо, що середній час у дорозі за різними напрямками руху варіює від 50 до 65 с. Рух по напрямкам буде займати приблизно однаковий час. Однак за показником середньої довжини черги ТЗ виділяється вхід під номером 4 (по вулиці Героїв АТО збоку вулиці В. Матусевича), де ТЗ проходять через лічильник 1. Черга у даному напрямку може досягати довжини у 19,6 м. Інший завантажений напрямок – по вулиці П.Дорошенка збоку зупинки громадського транспорту міська лікарня № 2. Тут можливо утворення черги довжиною 12,6 м. Враховуючи, що у склад транспортного потоку основний внесок приходить саме на легковий автотранспорт, що враховано при розробці імітаційної моделі перетину (опція “*Vehicle Compositions*”), отримані показники довжини черги ТЗ свідчать про затримку з 4-5 автомобілів по вулиці Героїв АТО та 3 автомобілів по вулиці П.Дорошенка у відповідних напрямках руху.

Величина затримки підтверджується також візуальними спостереженнями (рис.2.13, рис.2.14).



Рис.2.13. Рух по вулиці П.Дорошенка



Рис.2.14. Затримка на світлофорі по вулиці Героїв АТО

Такі показники довжини черги ще не можуть слугувати повноцінним обґрунтуванням зниження рівня безпеки руху на перехресті, однак підтверджують тезу про домінування лівоповоротних потоків з вулиці Героїв АТО у бік Дніпровського шосе. Для виявлення причин дорожньо-транспортних пригод проаналізуємо можливі типи конфліктів на перетині за допомогою SSAM.

Відповідно до налаштувань VISSIM результати кожної реплікації імітаційної моделі записані у вигляді окремого файлу траєкторії формату «.trj», який у подальшому використано в програмі SSAM для автоматизованого аналізу безпеки руху.

2.6. Аналіз конфліктів та замісних показників безпеки руху в SSAM

У SSAM використовуються дві порогові величини для замісних показників безпеки руху для визначення характеру взаємодії між ТЗ, яка ідентифікується як конфлікт. Як вже зазначалось, ці порогові величини встановлюються для часу до зіткнення (TTC) та часу після вторгнення (PET), значення яких за замовчуванням дорівнюють 1,5 с та 5 с відповідно.

Представимо означення для замісних показників безпеки руху, яке надається розробниками SSAM [30].

TTC – значення мінімального часу до зіткнення, що спостерігається під час конфлікту. Оцінка заснована на поточному положенні, швидкості руху та майбутній траєкторії двох транспортних засобів у миттєвий проміжок часу. Визначається для кожного часового кроку протягом події. Конфлікт вважається завершеним після того, як величина TTC перевищує порогову величину

PET – мінімальний час після вторгнення, що спостерігається під час конфлікту. Представляється як різниця між часом прибуття першого транспортного засобу у дане положення та часом, за який інший транспортний засіб послідовно зайняв те ж саме положення. При величині $PET=0$ настає подія конфлікту.

Конфлікт вважається завершеним у разі ідентифікації порогового значення PET у кінцевому положенні транспортного засобу, коли величина часу до зіткнення залишається нижчою певної критичної величини.

Дані результатів імітаційного моделювання обробляються програмою для визначення взаємодії ТЗ, яка задовольняє певним класифікаційним ознакам.

Під час аналізу виявляється кожен конфлікт, включаючи дані з файлів траєкторії всіх відповідних реплікацій моделювання, що відображається у таблиці конфліктів. У ній представлена детальна інформація по кожному конфлікту, враховуючи час, розташування та замісні показники безпеки.

Також для кожної реплікації доступний зведений звіт, який включає відомості по кількості конфліктів різних типів, середні та узагальнені значення вихідних показників.

Звіт по замісним показникам по досліджуваному перетині вулиць представлений у табл.2.2.

Табл.2.2

Зведений звіт по замісним показникам безпеки (ТТС, PET)

Замісний показник	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення	Дисперсія
ТТС	0	1,5	0,99	0,30
PET	0	4,5	1,89	2,72

Для даної розв'язки відповідно до SSAM можливо 10 конфліктів, з яких відсутні конфлікти за типом «перетин траєкторій», 9 конфліктів типу «наїзд ззаду», 1 конфлікт пов'язаний із перебудовою (змінною смуги руху).

Теплова карта конфліктів показана на рис.2.16. Як з неї видно, найбільш напруженою ділянкою є напрямок руху транспорту по вулиці Героїв АТО.

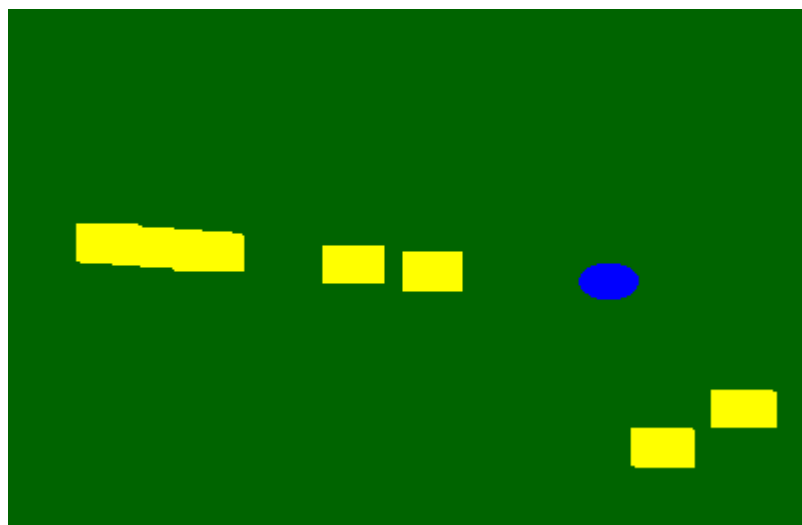


Рис. 2.16. Теплова карта конфліктів: жовтий колір – наїзд ззаду, синій колір – перебудова.

2.8. Порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху

Порівняння двох методів автоматизації оцінки безпеки руху проводилось за такими критеріями:

- за загальною кількістю потенційних конфліктів;
- за замісними показниками безпеки руху;

Загальна кількість виявлених конфліктів у програмі DataFromSky Viewer становила 15 за показником TTC, 12 – за показником PET, у програмі SSAM – по 10 конфліктів кожного типу. Кожному визначеному в SSAM конфлікту відповідає певне значення TTC та PET, а сам конфлікт за траєкторією взаємодії ТЗ відповідно до прийнятої схеми кутових секторів ураження характеризується конкретним типом (наїзд ззаду, перетин, зміна смуги руху). Таким чином, можна стверджувати, що у DataFromSky Viewer визначено більше ніж в SSAM на 5 випадків конфліктів за TTC, та на 2 випадків за PET. Кількість значень PET з нульовими значеннями в SSAM становило 2 випадків, в DataFromSky Viewer – також 2. При зміні порогової величини PET в DataFromSky Viewer за замовчуванням, рівної 2 с, програма розпізнає 11 конфліктів. Таким чином, DataFromSky Viewer фіксує більше подій

конфлікту типу «час до зіткнення», однак безпосередньо кількість випадків призначення події у якості конфлікту, що відбувся, більша за SSAM (два випадки ідентифіковано).

Порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху показує, що різниця у отриманих середніх значеннях замісних показників для двох програм становила відповідно для TTC 12,3%, для PET – 9,3%, що є незначними показниками. За якісними критеріями у порівнянні з DataFromSky, SSAM показує більш песимістичний прогноз безпеки руху відповідно до TTC із середнім значенням останнього у 0,99 с проти 1,13 с, за PET – 1,89 с проти 2,04 с.

Табл.2.3.

Порівняння замісних показників безпеки руху за двома методами оцінки

Замісний показник	Мінімальне значення		Максимальне значення		Середнє значення		Відносне відхилення середнього значення
	DFS	SSAM	DFS	SSAM	DFS	SSAM	
TTC	0,02	0	1,34	1,5	1,13	0,99	12,3%
PET	0	0	4,81	4,50	2,04	1,89	9,3%

Збільшення тривалості зеленого сигналу світлофорів з 28 с до 35 с дозволить зменшити кількість конфліктів з 9 до 8, відповідно до звіту SSAM, що суттєво не вплине стан безпеки руху.

2.9. Висновки до розділу 2

У роботі проведено порівняльний аналіз методів автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху, одна з яких засновується на технології штучного інтелекту DataFromSky, інша – на основі аналізу траєкторій руху із програм імітаційного моделювання (VISSIM) із використанням замісних показників SSAM.

Для цього проведено такі дослідження:

1. Проведено візуальні обстеження інтенсивності руху на перетині проспекту Гагаріна, Дніпровського шосе та вулиці П. Дорошенка (кільце Автовокзалу) у місті Кривий Ріг у пікові години доби.

2. Проведено повітряну відеозйомку руху на перехресті вулиць Героїв АТО та вулиці П.Дорошенка у пікові години доби. Виконано автоматизований відеоаналіз руху в програмі DataFromSky відповідно до поставлених задач.

3. На перехресті за допомогою DataFromSky Viewer виявлено 15 можливих конфліктів, з яких 4 характеризуються значенням TTC у 0,02 с. Порогова величина TTC встановлена у 1,5 с. В основному конфлікти відбуваються між легковими автомобілями. За показником PET виявлено 12 потенційних конфліктів. Найбільша кількість випадків – від 30 до 35, за яких значення показника PET знаходиться у діапазонах від 0,63 с до 4,8 с. Нульове значення показника означає виникнення конфлікту, таких випадків виявлено двоє. Напрямами руху, які перетинаються із високою частотою випадків, є повороти ліворуч по вулиці Героїв АТО на вулицю П. Дорошенка убік Дніпровського шосе.

4. Створено імітаційну модель перехрестя вулиць Героїв АТО та вулиці П.Дорошенка у програмному забезпеченні PTV VISSIM із використанням показників інтенсивностей руху транспортних засобів, які проходять через вхідні лічильники в DataFromSky Viewer. Записи траєкторій руху транспортних засобів з PTV VISSIM використано у програмі оцінки безпеки руху SSAM.

5. Відповідно до аналізу траєкторій в SSAM на перехресті вулиць Героїв АТО та вулиці П.Дорошенка можливо виникнення 10 конфліктів, з яких відсутні конфлікти за типом «перетин траєкторій», 9 конфліктів типу «наїзд ззаду», 1 конфлікт пов'язаний із перебудовою (зміною смуги руху).

6. Статистичне порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху показує, що різниця у отриманих середніх значеннях замісних показників для двох програм становила відповідно для TTC 12,3%, для PET – 9,3%, що є незначними показниками.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ

3.1 Метод визначення ефективності автоматизації оцінки безпеки руху

Економічна оцінка використання автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху представляє собою порівняння експлуатаційних витрат на проведення досліджень у відповідному програмному забезпеченні. У разі застосування технології штучного інтелекту DataFromSky необхідне підключення до тарифного плану виробника програмного забезпечення для активації облікового запису із наданням кредитів для обробки відеозаписів дорожнього руху. Якщо використовуються програми імітаційного моделювання, питання полягає в оплаті праці спеціаліста з транспортного моделювання. Безпосередньо SSAM представляється FHWA на безоплатній основі [30].

Метою оцінки ефективності методу автоматизації безпеки дорожнього руху є обґрунтування доцільності вкладення коштів для підключення до тарифного плану або оплати праці спеціаліста з транспортного моделювання.

Економічний ефект визначатиметься різницею витрат, пов'язаних із використанням двох методів оцінки безпеки руху:

$$E = |C_1 - C_2| \quad (3.1)$$

C_1 – експлуатаційні витрати на автоматизовану оцінку безпеки руху за допомогою методу VISSIM/SSAM; C_2 – експлуатаційні витрати на автоматизовану оцінку безпеки руху за допомогою DataFromSky.

Перша складова визначатиметься:

$$C_1 = A \cdot T_{ij} \cdot N_{ij} \cdot p_{ij} \quad (3.2)$$

де A – питома вартість використання ліцензії програмного забезпечення (грн./доба)
 T_{ij} – час, необхідний на виконання робіт j -того профілю (розробка імітаційної

моделі перехрестя) працівниками i -тої посади (експерт з транспортного моделювання); N_{ij} – кількість виконавців i -тої посади, задіяних у роботі j -того профілю; p_{ij} – погодинна оплата j -тої праці i -того виконавця робіт.

Питома вартість використання академічного пакету програми імітаційного моделювання:

$$A = V \cdot /M \cdot n \cdot 365$$

де V – ціна ліцензії, грн.; M – кількість персональних комп'ютерів, для яких надається ліцензія; n – кількість років, протягом яких дійсна ліцензія; 365 – кількість днів у році.

Друга складова визначатиметься:

$$C_2 = T_{ij} \cdot N_{ij} \cdot p_{ij} + K \cdot p_k \quad (3.3)$$

де T_{ij} – час, необхідний на виконання робіт j -того профілю (маркування робочого простору відеофрагменту та експорт результатів аналізу руху) працівниками i -тої посади (експерт з транспортного моделювання); N_{ij} – кількість виконавців i -тої посади, задіяних у роботі j -того профілю; p_{ij} – погодинна оплата j -тої праці i -того виконавця робіт; K – кількість кредитів, витрачених на автоматизовану обробку відеозапису у хмарі розробника програмного забезпечення та створення протоколу трасування; p_k – вартість одного кредиту.

3.2. Аналіз економічної ефективності використання технологій DataFromSky та VISSIM/SSAM

Визначення економічного ефекту від впровадження технології DataFromSky та VISSIM/SSAM для автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху проводилось на прикладі відеозапису руху на досліджуваному перехресті вулиці П. Дорошенка та Героїв АТО.

На виконання робіт з розробки імітаційної моделі перехрестя в VISSIM витрачено 70 хв. (1,16 години), середня погодинна ставка експерта з транспортного моделювання становить 8 євро (239,2 грн.) [10]. Вартість академічної ліцензії VISSIM на 3 роки на 100 машин становить 5000 євро [10]. Враховуючи поточний курс євро, питома вартість використання академічного пакету VISSIM становить, грн./доба:

$$A = 5000 \cdot 33,41/3 \cdot 100 \cdot 365 = 1,52.$$

Виходячи з цього,

$$C_1 = 1,15 \cdot 1,52 \cdot 1 \cdot 239,2 = 418 \text{ грн.}$$

На геореєстрацію, маркування робочого простору відеофрагменту в DataFromSky та експорт результатів аналізу руху було витрачено 34 хв. (0,56 год.). Середня погодинна ставка експерта з транспортного моделювання становить 8 євро (239,2 грн.) [29]. Для обробки відеозапису було витрачено 1,67 кредитів. Вартість одного кредиту для «areal» режиму, який дозволяє обробити 1 годину відео з безпілотного літального апарату, становить 14,5 євро (433 грн.) [9].

Звідси експлуатаційні витрати на автоматизацію оцінки безпеки руху за допомогою програми DataFromSky становитимуть:

$$C_2 = 0,56 \cdot 1 \cdot 239,2 + 1,67 \cdot 433 = 857 \text{ грн.}$$

Таким чином, використання технології VISSIM/SSAM дозволяє скоротити витрати на автоматизацію оцінки безпеки руху на 51% у порівнянні з DataFromSky.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Багато людей проводять значну частину дня перед екраном комп'ютера - будь то настільний комп'ютер, ноутбук, планшет чи навіть смартфон. Сьогодні насправді рідко можна зустріти робоче середовище, де не використовуються екрани комп'ютерів. У більшості випадків комп'ютер є абсолютно нешкідливим. Однак, якщо проводити перед ним тривалі періоди (наприклад, кілька годин на день), це може становити значний ризик для здоров'я [32].

Техніка безпеки при роботі з комп'ютером передбачає наявність загальнодоступної інструкції, в якій вказані обов'язкові вимоги до облаштування робочого місця і процесу використання техніки. Ці правила єдині для всіх організацій, їх виконання контролюється керівними органами.

Основні правила організації простору навколо робочого місця.

при тривалому і інтенсивному використанні, на поверхні модулів ПК (системний блок, монітор, мишка) виникають невеликі розряди струму, ці частинки активізуються під час дотиків до них і призводять до виходу техніки з ладу.

потрібно регулярно використовувати нейтралізатори, зволожувачі повітря, антистатиками; навколо столу не повинно бути звисаючих проводів, користувач не повинен контактувати з ними.

важлива цілісність корпусу розетки і штепсельної вилки;

відсутність заземлення фільтру перевіряється за допомогою вимірювальних приладів;

бажано в офісі використовувати мінімальну кількість легкозаймистих матеріалів (дерева, пінопласту), а також пального пластика в ізоляції, рекомендується віддавати перевагу цеглі, скла, металу ;

приміщення повинно добре вентилюватися і охолоджуватися в жарку пору року, важливий своєчасний відвід надлишкового тепла від техніки.

Перед тим, як включити комп'ютер, необхідно приділити пару хвилин наступних дій:

потрібно переконатися в тому, що в зоні досяжності відсутні оголені дроти і різні шнури, оголенні проводи не тільки заважають роботі, але і несуть потенційну небезпеку в разі короткого замикання;

не можна починати роботу на техніці з видимим пошкодженням, у разі виявлення тріщини на корпусі або пошкоджень іншого роду, потрібно звернутися за допомогою в сервісний центр; це саме можна сказати до ПК з несправним індикатором включення / вимикання. предмети на столі не повинні заважати огляду, користування мишкою і клавіатурою;

поверхня екрану повинна бути абсолютно чистою; на системному блоці не повинно знаходитися жодних предметів, так як в результаті вібрацій може порушитися робота пристрою, потрібно переконатися в тому, що ніякі сторонні предмети не заважають роботі системи охолодження.

неприпустимо включати персональний комп'ютер в подовжувачі і розетки, в яких відсутня заземлювальна шина;

забороняється починати роботу в приміщеннях з підвищеною вологістю, а також в разі, якщо поруч присутні відкриті джерела вологості; включити техніку можна лише після повного висихання навколишніх предметів. неприпустимо часто вмикати і вимикати комп'ютер протягом робочого дня без особливої потреби, система просто не справляється з необхідністю швидко згорнути всі процеси.

Оскільки персональний комп'ютер має всі властивості електричного приладу, то на нього поширюються основні правила безпеки при взаємодії з провідниками струму:

не можна розміщувати будь-які речі на повідках, а також самостійно змінювати їх розташування без особливої потреби; рекомендується уникати розташування рідин поруч з модулями комп'ютера, тому кулер з водою або кавовий автомат необхідно розміщувати в стороні від робочих місць в офісі;

користувачі повинні усвідомлювати небезпеку потенційного замикання в разі пролиття води на клавіатуру або системний блок, не можна працювати на ПК з мокрими руками; не можна очищати поверхню комп'ютера від забруднень, коли він знаходиться у включеному стані; н

неприпустимо знімати корпус будь-якої із складових частин ПК під час його роботи, крім того, розбір і ремонт техніки мають здійснюють тільки спеціалізовані працівники;

під час роботи на комп'ютері не можна одночасно торкатися до інших металевих конструкцій, які стоять на тій же поверхні, це стосується опалювальних батарей або трубопроводів; в приміщенні з комп'ютерами недозволено палити або вживати їжу безпосередньо на робочому місці;

при відчутті навіть незначного запаху гару, потрібно якомога швидше вимкнути ПК з мережі і звернутися до відповідального за обслуговування комп'ютерної техніки.

Як було сказано вище, неправильна робота з персональним комп'ютером таїть в собі безліч загроз для здоров'я людини. Щоб мінімізувати цей вплив навіть при тривалому знаходженні за монітором, варто запам'ятати наступні постулати:

відстань між очима користувача і екраном становить не менше півметра, але користувач повинен бути в змозі дотягнутися кінчиками пальців до верхнього краю монітора;

клавіатура розміщується за 20-30 сантиметрів від краю столу;

стілець стоїть таким чином, щоб спина лише трохи впиралася в його спинку;

висота сидіння дозволяє тримати рівну поставу;

лікть зігнуті під прямим кутом, а в кистях рук, що лежать на столі, не відчувається напруження; лікті не висять в повітрі, а комфортно розташовуються на підлокітниках крісла або стільниці, їх позиція істотно не змінюється при пересуванні мишки;

якщо користувач носить окуляри, то потрібно переконатися в тому, що він може вільно регулювати кут нахилу екрану. надзвичайно важлива періодична зарядка;

щогодини потрібно вставати з крісла, розминати м'язи і суглоби, адже, незважаючи на нерухомість, вони відчують величезне навантаження, перебуваючи в неприродному положенні;

обов'язково потрібно робити розминку для очей: кругові та лінійні рухи відкритими очима, моргання.

ВИСНОВКИ

Проведено дослідження методів автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху із використанням технології штучного інтелекту та аналізу файлу траєкторій руху транспортних засобів, які отримані в результаті проведення імітаційного комп'ютерного моделювання. За основу критеріїв порівняння прийняті замісні показники безпеки руху: час до зіткнення (TTC) та час після вторгнення (PET). Вибір даних критеріїв обумовлений тим, що вони дозволяють із достатньою точністю класифікувати певну подію взаємодії транспортних засобів як конфлікт, та одночасно представлені у якості вихідних параметрів аналізу безпеки руху у двох провідних програмних середовищах – DataFromSky та SSAM. Незважаючи на принципово різні підходи до аналізу безпеки руху, дані продукти використовують траєкторії руху та кути ураження для визначення замісних показників безпеки та, відповідно, ідентифікації конфліктів на перехрестях. На перший погляд, траєкторії руху транспортних засобів, вид яких отриманий із відеофрагменту руху краще характеризують ситуацію на дорозі, ніж траєкторії, які створюються стохастично у симуляторі руху. Однак ідея дослідження полягала у перевірці даного ствердження.

Алгоритм проведення дослідження виглядає таким чином:

- запис відеоролику дорожнього руху на перехресті, ділянці транспортної мережі;
- обробка відеоролику на хмарному сервісі платформи DataFromSky та налаштування конфігурації позначень отриманого у результаті даної обробки протоколу трасування;
- аналіз безпеки руху із визначенням списку конфліктів та замісних показників TTC та PET за допомогою DataFromSky Viewer;
- розробка імітаційної моделі ділянки в програмі VISSIM із встановленою годинною інтенсивністю руху транспорту у відповідних напрямках з даних DataFromSky Viewer;

– аналіз безпеки руху із визначенням списку конфліктів та замісних показників TTC та PET за допомогою обробки файлу траєкторії з VISSIM в програмі SSAM;

– порівняння отриманих кількісних показників конфліктів та замісних показників безпеки руху за двома методами.

Дану методику апробовано на перехресті вулиць Героїв АТО та П. Дорошенка у місті Кривий Ріг, оскільки це перехрестя за даними Національної поліції відноситься до місць концентрації ДТП. В результаті встановлено наступне.

1. Основний транспортний потік приходить у напрямку «вулиця Героїв АТО збоку вулиці В. Матусевича – поворот ліворуч на вулицю П. Дорошенка».

2. Різниця у отриманих середніх значеннях замісних показників для двох програм становила відповідно для TTC – 12,3%, для PET – 9,3%, що є незначною величиною.

3. Збільшення тривалості зеленого сигналу світлофорів з 28 с до 35 с дозволить зменшити кількість потенційних конфліктів з 9 до 8, відповідно до звіту SSAM, що суттєво не вплине стан безпеки руху.

4. Використання технології VISSIM/SSAM дозволяє скоротити витрати на автоматизацію оцінки безпеки руху на 51% у порівнянні з DataFromSky.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронне джерело: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12>
2. ГБН В.2.3-37641918-555:2016. Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні проектування. – К.: 2016. – 54 с.
3. Електронне джерело: <https://vodiy.ua/pdr/10/>
4. ДСТУ 4159-2003 Безпека дорожнього руху. Організація дорожнього руху. Умовні позначення на схемах і планах.
5. СОУ 45.2-00018112-048:2010 Безпека дорожнього руху. Проект (схема) організації дорожнього руху. Правила розроблення, побудови, оформлення та вимоги до змісту.
6. ДСТУ Б А.1.1-100:2013 Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять.
7. ДСТУ 4100-2014 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування.
8. ДСТУ 2587:2010 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролювання. Правила застосування.
9. Електронне джерело: <https://datafromsky.com/trafficsurvey/>
10. Електронне джерело: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>
11. Електронне джерело: <https://www.eway.in.ua/ru/cities/kryvyirih>
12. Електронне джерело: <https://www.google.com.ua/maps/@47.9101954,33.3920254,18.42z?hl=ru>
13. Alrajie, H. (2015). Investigation of Using Microscopic Traffic Simulation Tools to Predict Traffic Conflicts Between Right-Turning Vehicles and Through Cyclists at Signalized Intersections Master of Applied Science.

14. A. Pirdavani, et al., Evaluation of traffic safety at un-signalized intersections using microsimulation: a utilization of proximal safety indicators, *Adv. Transp. Stud.* 22A. (2010) 43–50 , An international Journal.
15. Sobhani, et al., A simulation based approach to assess the safety performance of road locations, *Transp. Res. Part C Emerging Technol.* 32 (2013) 144–158.
16. Blvd, C. (2017). *Open Source SSAM User Manual*, (662), 1–34.
17. C. Caliendo, M. Guida, Microsimulation approach for predicting crashes at unsignalized intersections using traffic conflicts, *J. Transp. Eng.* 138 (12) (2012). 1453–1467.
18. F. Huguenin, et al., Evaluation of traffic safety using microsimulation, *Proceedings of the 5th Swiss Transport Research Conference–STRC*, Ascona, Swiss, 2005.
19. F. Cunto, F.F. Saccomanno, Simulated safety performance of rear-end and angled vehicle interactions at isolated intersections, *Can. J. Civ. Eng.* 36 (11), (2009). 1794–1803.
20. Fan, R. et al., (2013) Using VISSIM simulation model and Surrogate Safety Assessment Model for estimating field measured traffic conflicts at freeway merge areas. *IET Intelligent Transport Systems.* 7 (1). p. 68-77.
21. Giuffrè, O., Granà, A., Tumminello, M. L., Giuffrè, T., Trubia, S., Sferlazza, A., & Rencelj, M. (2018). Evaluation of Roundabout Safety Performance through Surrogate Safety Measures from Microsimulation, 2018.
22. Guido, G. et al., (2011) Safety performance measures: a comparison between microsimulation and observational data. *Procedia-Social and Behavioral Sciences.* 20. p. 217-225.
23. Huang, F. et al., (2013) Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention.* 50. p. 1014-1024.

24. H. Yang, et al., Application of simulation-based traffic conflict analysis for highway safety evaluation, Proceedings of the 12th WCTR, Lisbon, Portugal, 2010.
25. J.J. So, et al., Development and evaluation of an enhanced surrogate safety assessment framework, *Transp. Res Part C Emerg. Technol.* 50 (2015) 51–67
26. J.J. So, et al., Development and validation of a vehicle dynamics integrated traffic simulation environment assessing surrogate safety, *J. Comput. Civ. Eng.* 29 (5). (2014), 04014080.
27. K. Ozbay, et al., Derivation and validation of new simulation-based surrogate safety measure, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2083 (2008) 105–113.
28. Mahmud, S. M. S., Ferreira, L., Hoque, S., & Tavassoli, A. (2019). Micro-simulation modelling for traffic safety: A review and potential application to heterogeneous traffic environment. *IATSS Research*, 43(1), 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2018.07.002>
29. Microscopic_traffic_flow_simulator_VISSIM. (n.d.).
30. Surrogate Safety Assessment Model and Validation : Final Report. (2008).
31. Vasconcelos, L., Neto, L., Seco, Á. M., & Silva, A. B. (n.d.). Validation of the Surrogate Safety Assessment Model for Assessment of Intersection Safety. <https://doi.org/10.3141/2432-01>
32. <https://www.highspeedtraining.co.uk/hub/computer-health-and-safety/>