

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему Оцінка функціоналу програм інтелектуального аналізу даних для моделювання дорожнього руху

Виконав:

студент 3 курсу, групи ТТ-17ск _____

(шифр групи)

(підпис)

Б.С.Філенко

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

В.О.Сістук

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Ю.А. Монастирський

(прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2020р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
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

_____/_____
”_____” 2020 р. . /

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Філенко Богдану Сергійовичу

1. Тема *Оцінка функціоналу програм інтелектуального аналізу даних для моделювання дорожнього руху*

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

затверджені наказом університету від “12” травня 2020 року № 390.

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат 06.06.2020

3. Вихідні дані до роботи: Навчально-методичне забезпечення з програм відеоаналізу руху GoodVision та DataFromSky.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз функціональних можливостей програм DataFromSky та GoodVision. 2. Розробка загальної методики досліджень. 3. Позначення робочого простору в DataFromSky та GoodVision. 4. Порівняння OD-матриць та визначення точності програм. 5. Визначення ефективності автоматизації підрахунку показників інтенсивності дорожньому руху.

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

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Аналіз функціональних можливостей програм DataFromSky і GoodVision та розробка методики досліджень	12.05–18.05	
2	Збір вихідних даних та відеоаналіз руху із позначенням робочого простору	18.05-21.05	
3	Оцінка і порівняння OD-матриць та визначення точності програм	21.05-28.05	
4	Розрахунок ефективності автоматизації підрахунку показників інтенсивності дорожньому руху.	28.05-29.05	
5	Оформлення пояснювальної записки та презентації	29.05-06.06	

Студент

_____ (підпис)

Б.С.Філенко

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 оцінку функціоналу програм інтелектуального аналізу даних для моделювання дорожнього руху Datafromsky та GoodVision на основі перевірки точності розрахунків кількості транспортних засобів.

Об'єктом дослідження є програми інтелектуального аналізу даних, отриманих на основі відеоспостережень дорожнього руху, а предметом – матриці зародження-призначення (OD-матриці) з програм інтелектуального відео аналізу даних дорожнього руху.

В основу методики визначення точності даних програм покладено порівняння OD-матриць транспортних потоків, отриманих за допомогою досліджуваних програм з тими, що визначені методом візуального спостереження за відеорядом.

Встановлено, що відмінності у класифікаторах досліджуваних платформ не мали значного впливу на кінцеву точність розпізнання учасників дорожнього руху. Вперше встановлено, що за відсотком об'єктів розпізнання із загальної кількості ідентифікованих об'єктів, які проходять через встановлені віртуальні лічильники, та, відповідно, враховуються в OD-матрицях, DataFromSky має перевагу перед GoodVision (55,4% проти 29,9%). Визначено відносну похибку розпізнання учасників руху для двох платформ. DataFromSky має меншу відносну похибку розпізнання для умов досліджуваного перехрестя у порівнянні з GoodVision (31,4% проти 42,2% для всіх досліджуваних об'єктів, 29,8% проти 41,1% для легкових автомобілів, число яких становить 93% від загальної кількості учасників руху).

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 9 рисунків, 11 таблиць, списку літератури з 19 джерел на 42 сторінках машинописного тексту.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ	9
1.1. Переваги технології інтелектуального відео аналізу даних дорожнього руху	9
1.2. Загальна характеристика програми DataFromSky Viewer	10
1.3. Загальна характеристика програми GoodVision Insights	12
1.4. Функціональні можливості програм DataFromSky та GoodVision	13
1.5. Методика порівняння програм автоматизованого аналізу дорожнього руху	15
1.6. Висновки до розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ПРОГРАМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПРИКЛАДІ Х-ПОДІБНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ	17
2.1. Загальна характеристика досліджуваного перехрестя	17
2.2. Параметри вихідного відеозапису дорожнього руху на перехресті	18
2.3. Позначення робочого простору відеокадру в Datafromsky Viewer	19
2.4. Позначення робочого простору відеокадру в GoodVision Insight	22
2.5. Порівняльний аналіз OD-матриць	23
2.6. Висновки до розділу 2	32
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПІДРАХУНКУ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПЕРЕХРЕСТІ	33
3.1. Метод визначення ефективності автоматизації підрахунку показників інтенсивності дорожньому руху	33
3.2. Оцінка економічної ефективності застосування програм DataFromSky/GoodVision для аналізу дорожнього руху на перехресті	35

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ ІЗ ЗБОРУ ДАНИХ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ.....	37
4.1. Загальні правила безпеки при визначенні інтенсивності руху та складу транспортного потоку.....	37
4.2. Правила безпечної експлуатації БПЛА	37
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

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 аналізу інтенсивності транспортних потоків із застосуванням штучного інтелекту виглядають альтернативною традиційним методам обробки польових даних про дорожній рух. У даному напрямку в Україні існує два програмних продукту – Datafromsky (Чеська республіка) [4] та GoodVision (Великобританія) [3], перший порівняльний аналіз яких виконано представниками провідної консалтингової компанії в області транспортного моделювання A+S для відеофрагменту дорожнього руху у місті Дніпро [8]. Однак в їх роботі використана лише загальна статистика кількісних показників по окремим типам транспортних засобів.

Мета роботи . Оцінка функціоналу програм інтелектуального аналізу даних для моделювання дорожнього руху Datafromsky та GoodVision на основі перевірки точності розрахунків кількості транспортних засобів відповідно до матриць зародження-призначення.

Об’єкт дослідження – програми інтелектуального аналізу даних, отриманих на основі відеоспостережень дорожнього руху.

Предмет дослідження – матриці зародження-призначення (OD-матриці) з програм інтелектуального відео аналізу даних дорожнього руху.

Задачі дослідження:

1. Порівняти функціональні можливості програм Datafromsky та GoodVision.
2. Розробити загальну методику порівняльного аналізу відеофрагменту дорожнього руху за допомогою програм Datafromsky та GoodVision.
- 3.Провести обробку відеофрагменту дорожнього руху на міському перехресті, яке характеризується значною інтенсивністю транспортних навантажень за допомогою хмарних сервісів Datafromsky та GoodVision.
4. Провести порівняльний аналіз OD-матриць з програм Datafromsky та GoodVision з урахуванням класифікації транспортних засобів за типами.

Методи дослідження. Аналіз, класифікація, відеообробка, декомпозиція, штучний інтелект, геореєстрація, візуальне спостереження, порівняння.

Практична цінність. Розвиток та поглиблення уявлень про сучасні методи автоматизованої обробки даних дорожнього руху за допомогою штучного інтелекту.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 9 рисунків, 11 таблиць, списку літератури з 19 джерел на 42 сторінках машинописного тексту.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

1.1. Переваги технології інтелектуального відео аналізу даних дорожнього руху

Оцінка стану, проектування, зміна організації руху на будь-яких елементах вулично-дорожньої мережі потребує якісних вихідних даних по інтенсивності транспортних потоків за конкретний проміжок часу. При цьому зберігаються загальні вимоги до інформації такого типу: вона повинна бути актуальною, повною, об'єктивною. Однак підрахунок інтенсивності транспортних потоків за допомогою візуального спостереження несе у собі ряд недоліків, пов'язаних із негативним впливом зовнішнього середовища на виконавця робіт, обмеженістю кількості напрямків руху, що можуть бути оброблені одночасно, високими трудовими затратами, необхідністю перебування у місцях обстеження, неможливістю перевірити результати обстеження [8].

Подоланню цих недоліків сприяє використання методів автоматизованого збору та обробки даних дорожнього руху. Визначення інтенсивності руху транспорту за допомогою інтелектуальної обробки даних з дорожніх відеокамер або безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на сьогодні виступає перспективним напрямком первинного аналізу даних дорожнього руху. В Україні широкого поширення набувають програми для автоматизованої обробки дорожнього руху, серед яких виділяються дві платформи – DataFromSky [4] та GoodVision [3]. Беззаперечною перевагою обох продуктів є можливість наочного представлення результатів аналізу дорожнього руху, а саме, показників динаміки руху, таких як траєкторії, швидкості та прискорення транспортних засобів. Однак питання вибору відповідного програмного забезпечення залишається актуальним, де першочергову роль відіграватиме точність підрахунку інтенсивності транспортних потоків.

1.2. Загальна характеристика програми DataFromSky Viewer

DataFromSky Viewer є програмним засобом для автоматизації обробки відео фрагментів дорожнього руху із функціями перегляду, створення та редагування даних відстеження на основі технології штучного інтелекту від DataFromSky. Транспортний засіб, що відстежується, представляється або як об'єкт, що має безпосереднє положення в будь-який час або певну траєкторію у часовому просторі. Кожному об'єкту відстеження присвоюється ідентифікаційний номер (*ID*), а також визначаються параметри швидкості руху, прискорення/уповільнення також тривалість часу на перехресті. Для кожного об'єкта відстеження створюється графік швидкості та прискорення. Візуалізації підлягають траєкторії руху транспортних засобів, поточна конфігурація позначень робочого простору, результати аналізу по OD-матрицям (*Origin-Destination*), безпеці дорожнього руху та інтервалів часу між двома послідовними транспортними засобами (*Headway*).

Основними функціями платформи є [4]:

- створення нових 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 послідовностями відео;
- 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 інформації 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 транспортних засобів.

Елементами, які утворюють позначення робочого простору відеофрагменту виступають:

- смуги (*Lanes*) – зони, всередині яких рухаються транспортні засоби;
- лічильник (*Gate*) – віртуальна лінія, яка фіксує транспортні засоби, що перетинаються, може бути направленою або селективною в залежності від класифікації, може бути представлена як вхід, вихід або інше;
- точки посилення – геопосилення кадру;
- вузли аналізу (*Analysis nodes*) – віртуальні об'єкти, які пов'язують між собою інші позначення;
- область руху (*Traffic region*) – використовується для визначення стаціонарного транспортного засобу та стаціонарного часу;
- область дії (*Action region*) – використовується для визначення присутності та швидкостей об'єктів;
- область анонімізації (*Anonymization Region*) – використовується для приховування конкретної області робочого простору.

В DataFromSky Viewer для створення лічильників, смуг та прихованих зон, областей руху та дії необхідно налаштувати конфігурацію відповідного позначення кадру (*Manage Annotation Configuration*).

Основними результатами аналізу дорожнього руху є:

- визначення транспортних навантажень на лічильниках;
- класифікація всіх об'єктів відстеження (включаючи велосипедів або пішоходів);
- підрахунок OD-матриць у визначених напрямках – їх кольорове позначення;
- вимірювання швидкості та прискорення в конкретній точці робочого простору, відображаючи кольорове позначення та створюючи теплові карти робочого простору;
- аналіз безпеки руху на основі замісних показників (часу до зіткнення (TTC), часу після вторгнення (*PET*), екстреного гальмування (*Heavy Braking*)).

1.3. Загальна характеристика програми GoodVision Insights

Платформа GoodVision Insights ґрунтується на технології комп'ютерного зору та штучного інтелекту для визначення траєкторій руху транспортних засобів із відеозаписів дорожнього руху. Основними блоками для аналізу результатів є підрахунок кількості об'єктів, класифікація об'єктів відстеження (легковий автомобіль, вантажний автомобіль, фургон, велосипед, мотоцикл, пішохід, багатовісні транспортні засоби – OGV2), параметри поведінкової моделі слідування за лідером (час у дорозі, проміжки часу між двома послідовними автомобілями, необережний рух пішоходів, зміна смуги руху, забороняючі сигнали світлофорів), параметри калібрування для імітаційних мікромоделей (поток насичення, автоматизоване визначення швидкості вільного руху, області зниження швидкості руху).

Елементами, які утворюють позначення робочого простору виступають лічильники (*lanes*), маршрути (*movement*), події (*events*), сценарії (*scenarios*) [3]:

- лічильники визначають напрямки підрахунку об'єктів розпізнання;
- маршрути виділяють частину дорожнього руху, яка проходить через віртуальні лінії лічильників або області робочого простору у визначеному порядку;
- події служать для виділення транспортних засобів, які займають певний період часу конкретну зону ділянки дослідження;
- у сценаріях відслідковуються складні варіанти організації руху, що поєднують маршрути та події.

Аналіз дорожнього руху представлений у відповідних файлах формату CSV. При цьому передбачено такі звіти про дорожній рух:

- підрахунок маршрутів дорожнього руху (*TMC*) – визначаються кількісні показники по кожному із 8 типів об'єктів розпізнання за весь час відеоспостережень або проміжок часу з інтервалом в 1 секунду;

- звіт про вторгнення (*intrusion report*) – визначаються часові затримки між послідовними об'єктами розпізнання (*gap time*), а також час у дорозі (*travel time*) по кожному з їх типів на відповідних маршрутах;
- потоки насичення (*saturation flows*) – визначаються потоки насичення в одиницях еквіваленту пасажирського автомобіля на годину (PCU/h) для кожного маршрута, а також по ділянці у цілому;
- OD-матриці – визначаються кореспонденції між обраними маршрутами.

1.4. Функціональні можливості програм DataFromSky та GoodVision

Порівняльний аналіз функціоналу двох платформ на основі даних відкритих джерел [3, 4], та з власного досвіду їх використання, представлено у таблиці 1.

Табл. 1.1

Порівняння функцій програм інтелектуального аналізу дорожнього руху

Показник	DataFromSky	GoodVision
Кількість типів об'єктів розпізнання	16	8
Можливість відслідковування об'єктів розпізнання	+	—
<i>Звіти за результатами аналізу</i>		
OD-матриці	+	+
Інтервал часу між двома послідовними транспортними засобами (<i>headway</i>)	+	—
«Час до переходу» (<i>time-to-gate</i>) та «Час до слідування» (<i>time-to-follow</i>) по кожному об'єкту розпізнання	+	—
Часові затримки (<i>gap time</i>)	—	+
Час у дорозі по кожному об'єкту розпізнання (<i>travel time</i>)	+	+
Потоки насичення (<i>saturation flow</i>)	—	+
Аналіз безпеки руху	+	+
<i>Візуалізація</i>		
Динаміка дорожнього руху (графіки):		
траєкторія	+	+

швидкість	+	+
прискорення	+	+
часова затримка	—	+
Графіки потоку зародження-призначення для маршрутів найбільшої інтенсивності	+	—
Залежності швидкості-прискорення для транспортної одиниці	+	—
Теплова карта руху	+	+
Теплова карта прискорень	—	+
Транспортне навантаження у піковий період	—	+
Вартість 1 години обробки відео, євро	2,90...3,84	4,03

За кількістю виконуваних функцій обидві платформи мають схожі показники. Потужними виглядають блоки даних програм, що відповідають за звіти з транспортної аналітики. Відмінності полягають у формах представлення результатів аналізу. У GoodVision акцент робиться на наявність функції детальних звітів по часовим затримкам та потокам насичення, перевагою DataFromSky є можливість аналізу безпеки дорожнього руху із представленням переліку конфліктів по кожному об'єкту відстеження. Існує також суттєва різниця у класифікації об'єктів розпізнання за типами. Ціна обробки 1 години відео є меншою в DataFromSky. За ідентичності виконуваних функцій питання використання того чи іншого продукту визначатиметься, насамперед, точністю підрахунку інтенсивності руху транспортних засобів. Окрім одиничного випадку [8], експериментальні дослідження для порівняння точності програм інтелектуального аналізу дорожнього руху не проводились. У зв'язку з цим, необхідним стає виконання порівняльного аналізу точності програм DataFromSky та GoodVision на основі OD-матриць, отриманих з результатів аналізу відеозапису дорожнього руху конкретного міського перехрестя.

1.5. Методика порівняння програм автоматизованого аналізу дорожнього руху

Методика порівняння програм автоматизованого аналізу дорожнього руху DataFromSky та GoodVision заснована на визначення їх точності шляхом обробки у хмарі платформ однакового відеозапису, ідентичного позначення робочого простору відеокадру, зіставлення отриманих за допомогою досліджуваних програм OD-матриць по кожному типу транспортних засобів з відповідними OD-матрицями за результатами візуальних спостережень (рис.1.1).

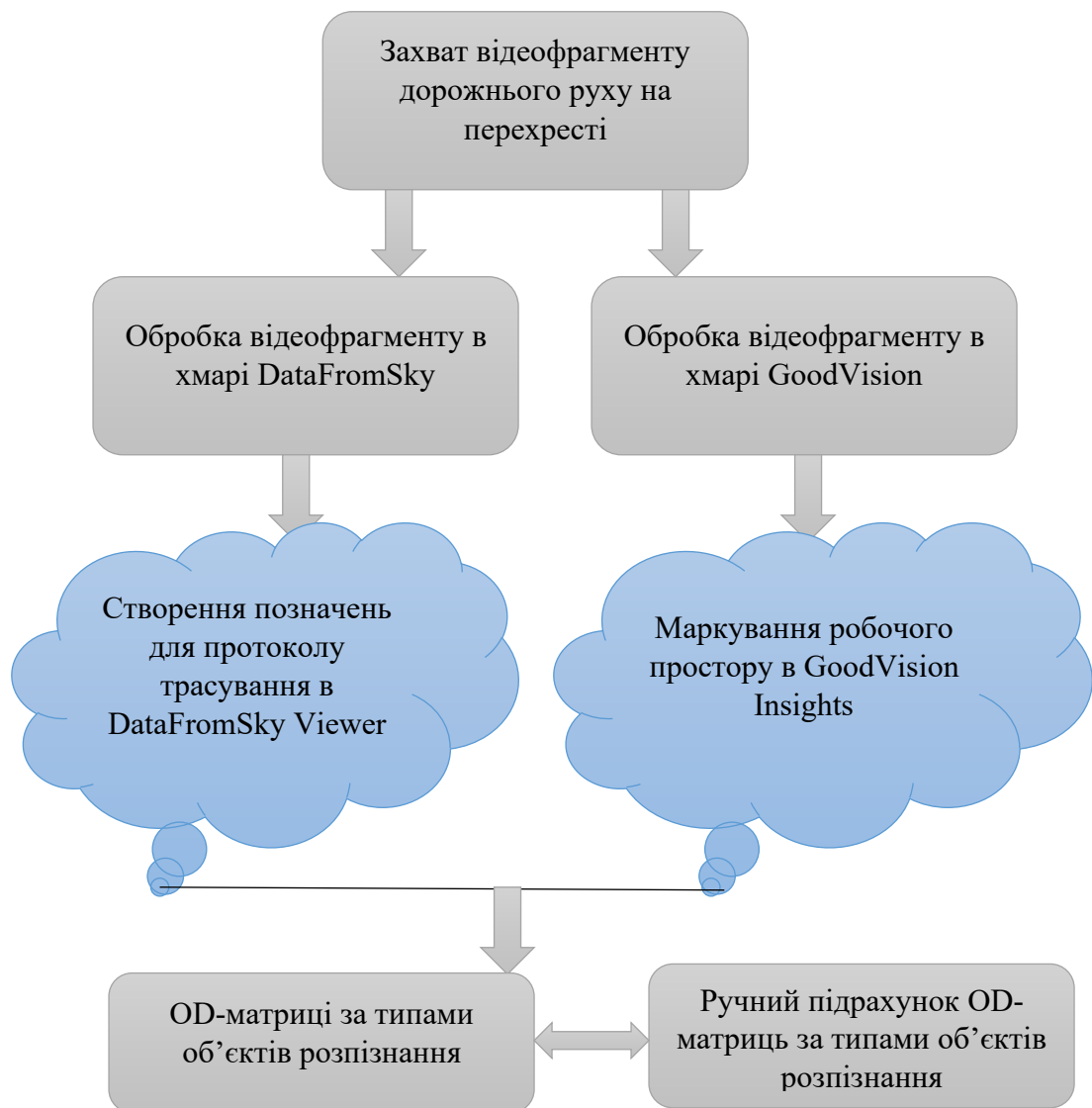


Рис. 1.1. Етапи порівняльного аналізу програм.

1.6.Висновки до розділу 1

Організація руху на міському перехресті є одним із головних чинників, що обмежують пропускну здатність вулично-дорожньої мережі у цілому. Для складних за будовою транспортних розв'язок, що займають значну частину житлових районів, збір натурних показників по інтенсивності транспортних потоків зазвичай викликає низьку труднощі, одними із головних з яких, є неможливість одночасного спостереження за декількома напрямками руху, або необхідність задіяння додаткових виконавців робіт (обліковців) для окремих напрямків. У той же час, розгортання фіксованих детекторів транспорту або інших наземних лічильників на великій площі потребує значних капіталовкладень.

Новітньою технологією, спрямованою на покращення якості обробки польових даних по транспортним потокам за рахунок автоматизації процесу визначення показників динаміки руху, є використання програм інтелектуального аналізу даних по типу Datafromsky та GoodVision. Порівняння функціоналу даних платформ дозволило встановити, що за кількістю виконуваних функцій обидва рішення є потужним інструментом аналізу дорожнього руху. Однак відкритим залишається питання відповідності їх заявленої точності підрахунку інтенсивності транспортних потоків (96%) фактичним показникам.

В основу методики визначення точності програм інтелектуального аналізу даних дорожнього руху лежить порівняння OD-матриць транспортних потоків, отриманих за допомогою досліджуваних програм з тими, що визначені методом візуального спостереження за відеорядом. Саме кореспонденції між віртуальними лічильниками, що встановлюються в однакових точках робочого простору відеофрагменту, визначатимуть не тільки точність ідентифікації об'єктів відстеження, а й динаміку руху при проходженні через відповідний лічильник у конкретному напрямку, що більш повно характеризує якість аналізу у відповідному програмному забезпеченні.

РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ПРОГРАМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОАНАЛІЗУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПРИКЛАДІ Х-ПОДІБНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ

2.1. Загальна характеристика досліджуваного перехрестя

У даній роботі для захвату відеозапису дорожнього руху за приклад Х-подібного перехрестя прийнята розв'язка у центрі міста Київ, що характеризується значною інтенсивністю транспортних потоків, – перехрестя вулиць «Бульвар Т. Шевченка» та Володимирівської. Вулиця «Бульвар Т. Шевченка» є однією з головних вулиць транспортної мережі Києва, пролягає від Бесарабської площі до площі Перемоги. Проїзні частини вулиці розташовані по обом сторонам центрального бульвару. Вулиця Володимирівська, у свою чергу, проходить із північного сходу до південного заходу від Андріївського узвозу, Десятинної вулиці до Короленківської вулиці [1]. Поблизу досліджуваного перехрестя розташовані Київський університет імені Т.Г. Шевченко (КНУ), Національний музей Т.Г. Шевченко, інститут філології КНУ, один із корпусів Міністерства освіти і науки України (МОН).

Перехрестя регульоване світлофорами. Вулиця «Бульвар Т. Шевченка» та вулиця Володимирівська мають по три смуги руху у кожному напрямку. Головною дорогою є вулиця «Бульвар Т. Шевченка». При в'їзді на перехрестя з вулиці «Бульвар Т. Шевченка» збоку Національного музею Т.Г. Шевченко нанесено дорожню лінію наближення 1.6, що попереджує про наближення до розмітки 1.1, яка розділяє транспортні потоки попутних напрямків. При виїзді на перехрестя по вулиці Володимирівській збоку МОН нанесено ідентичну дорожню розмітку. Далі за перехрестям по вулиці Володимирівській позначена стоп-лінія 1.12, де водії повинні зупинитись перед перехрестям розглядуваних вулиць, де напрямок руху на бульварі Т.Шевченка змінюється на протилежний. При виїзді на перехрестя по

вулиці Володимирівській збоку КНУ з крайньої лівої смуги рух дозволено тільки наліво, з середньої – прямо і наліво, правої– прямо. Поряд з тротуарами по вулиці Володимирівській позначені островки безпеки.

Супутникове зображення досліджуваного перехрестя представлено на рис.2.1.

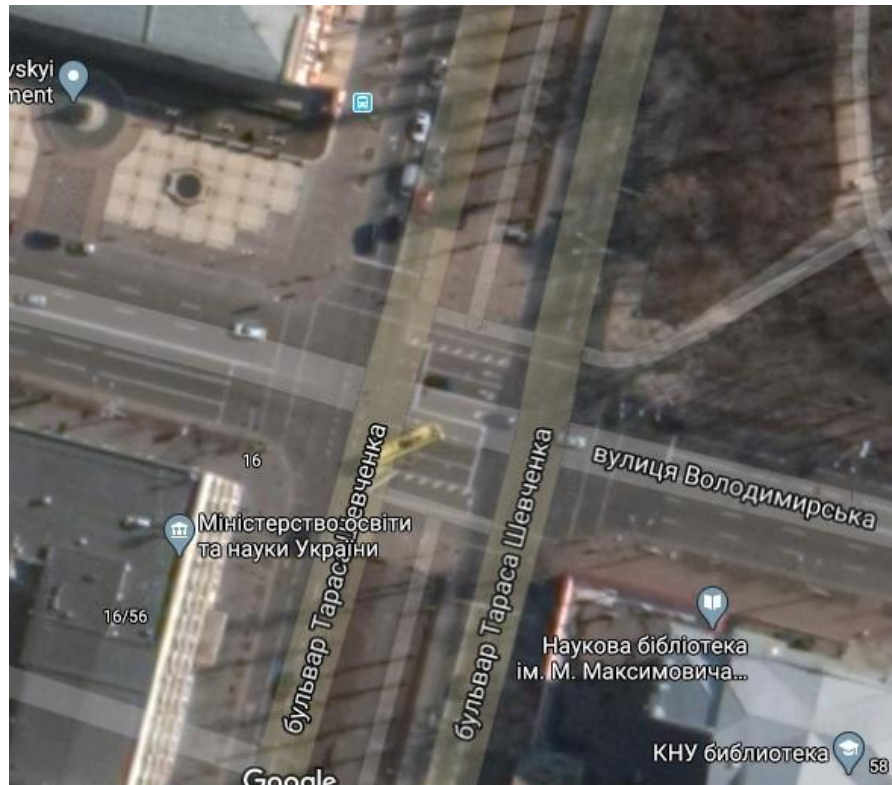


Рис.2.1. Супутникове зображення перехрестя (Google Maps).

2.2. Параметри вихідного відеозапису дорожнього руху на перехресті

Для встановлення та порівняння точності програм інтелектуального аналізу даних було проаналізовано інтенсивність руху різних типів учасників дорожнього руху за період з 16:14 по 16:38 годину (протягом 24 хвилин) 6 лютого 2020. Відеозапис отримано з міської онлайн-камери. Частота кадрів вихідного відео становила 25,6 кадрів/с, кількість кадрів – 37401, роздільна здатність відеопотоку – 1920 на 956 пікселів.



Рис.2.2. Оглядовий вид камери відеоспостереження.

2.3. Позначення робочого простору відеокадру в Datafromsky Viewer

Позначення робочого простору в Datafromsky Viewer представлено на рис.2.3. Створено конфігурацію позначень робочого простору, яка складається з 9 смуг, 7 лічильників, двох областей дії та двох областей руху. Області руху створено по вулиці Володимирівській та вулиці «Бульвар Т. Шевченко» при під'їзді до перехрестя, як показано на рис. 2.4 (*Traffic region 19, 20*).

Лічильники поділяються на вхідні (під номерами 2, 3, 5) та вихідні (під номерами 1, 4, 6). Розташування лічильників у робочому просторі показано на рис. 2.3, рис. 2.4. Напрями транспортних потоків, що проходять через встановлені лічильники, узагальнено у таблиці 2.1.

Властивості кожного лічильника задавались у відповідному меню програми. До них відносяться:

- *Тип лічильника (Gate Type)* – встановлювався вхідний, вихідний або нейтральний (*Entry, Exit, Neutral*) той чи інший ип лічильника;

- *Напрямок лічильника (Gate Direction)* – встановлювався напрям, за якого об'єкти розпізнання підраховувались даним лічильником (для надійності відстеження задавався підрахунок в обох напрямках);
- *Режим ідентифікації об'єкта (Object detection mode)* – встановлювався метод, за яким відстежується об'єкт (на основі записів траєкторій);

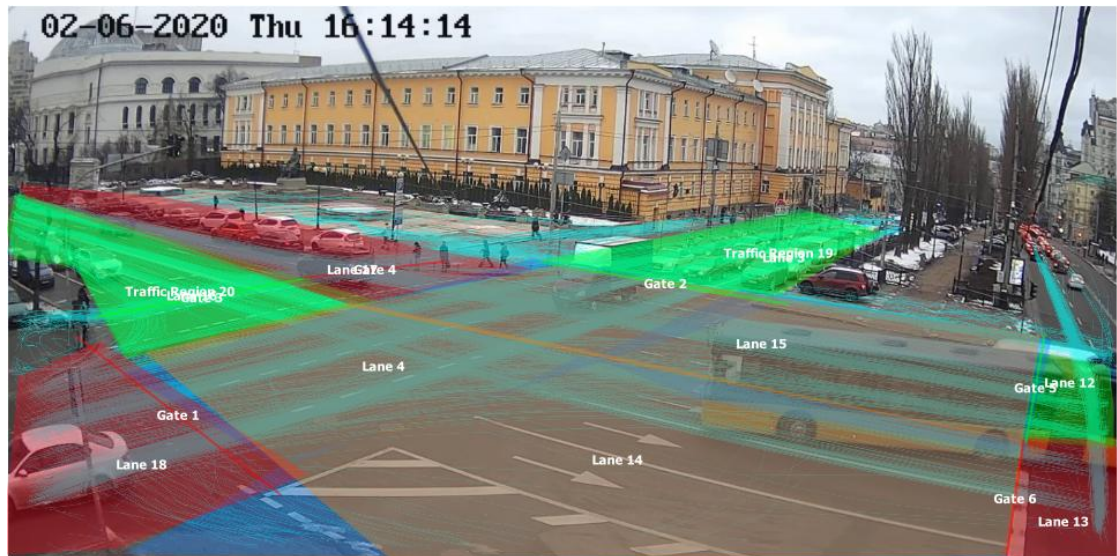


Рис.2.3. Конфігурація позначень на перехресті.

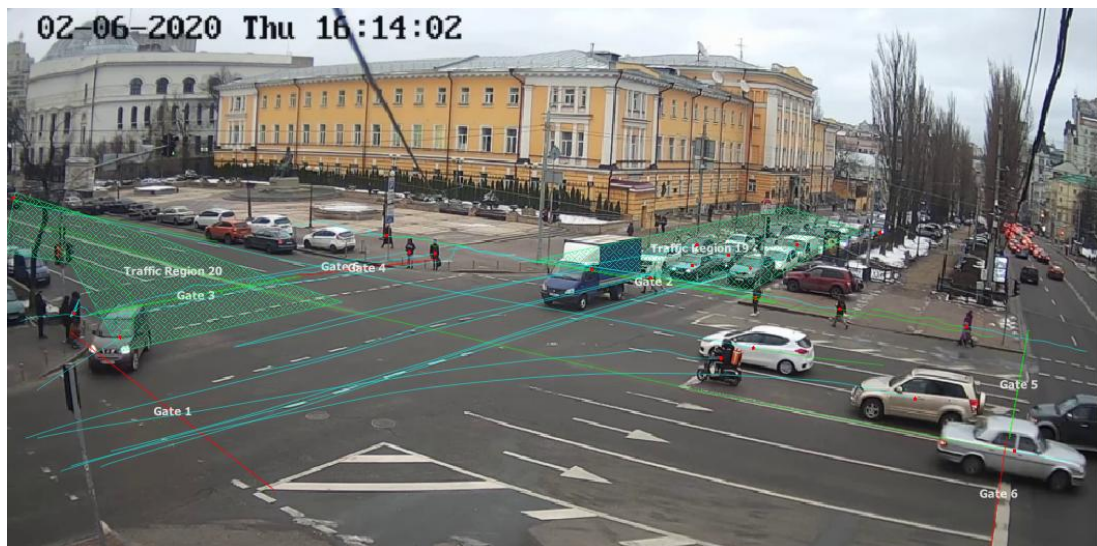


Рис.2.4. Створення областей руху

- *Діапазон ідентифікації об'єкта (Object detection range)* – при виборі візуального детектора (*Visual Detector*) можливо обрати діапазон ідентифікації (50);
- *Кутова чутливість (Angular Sensitivity)* – налаштування чутливості лічильника, яка залежить від кута, під яким транспортний засіб його проходить (за рекомендаціями розробників програмного забезпечення встановлено рівним 90°);
- *Дозволені об'єкти (Allowed Objects)* – одна із найважливіших властивостей лічильника, у разі вибору даної опції обирається тип транспортного засобу, проходження якого буде підраховано лічильником (обрано всі типи об'єктів, окрім пішоходів);
- *Дозволені кольори (Allowed Colours)* – встановлюється, об'єкти якого кольору будуть підраховані у лічильнику (усі кольори);
- *Ярлик (Tag)* – поле, що використовується для встановлення ім'я лічильника.

Табл.2.1.

Позначення вхідних та вихідних лічильників та напрями відповідних транспортних потоків

Номер та позначення лічильника	Тип лічильника	Напрямок транспортного потоку
Gate 1	Вихідний	Виїзд з перехрестя по вул. «Бульвар Т. Шевченка»
Gate 2	Вхідний	Заїзд на перехрестя по вул. «Бульвар Т. Шевченка»
Gate 3	Вхідний	Заїзд на перехрестя по вул. Володимирівська збоку МОН
Gate 4	Вихідний	Виїзд з перехрестя по вул. Володимирівська убік Педагогічного музею України
Gate 5	Вхідний	Заїзд на перехрестя по вул. Володимирівська збоку КНУ
Gate 6	Вихідний	Виїзд з перехрестя по вул. Володимирівська убік КНУ

Представлена конфігурація позначень послужила основою для розрахунку OD-матриць по транспортним потокам на перехресті.

2.4. Позначення робочого простору відеокадру в GoodVision Insight

Позначення робочого простору в GoodVision Insight представлено на рис. 2.5. Для якісного порівняння двох програмних засобів підрахунку інтенсивності транспортних потоків лічильники мають нумерацію як і в Datafromsky Viewer, відповідають тим же напрямкам руху транспорту, тобто встановлені в тих же місцях робочого простору.

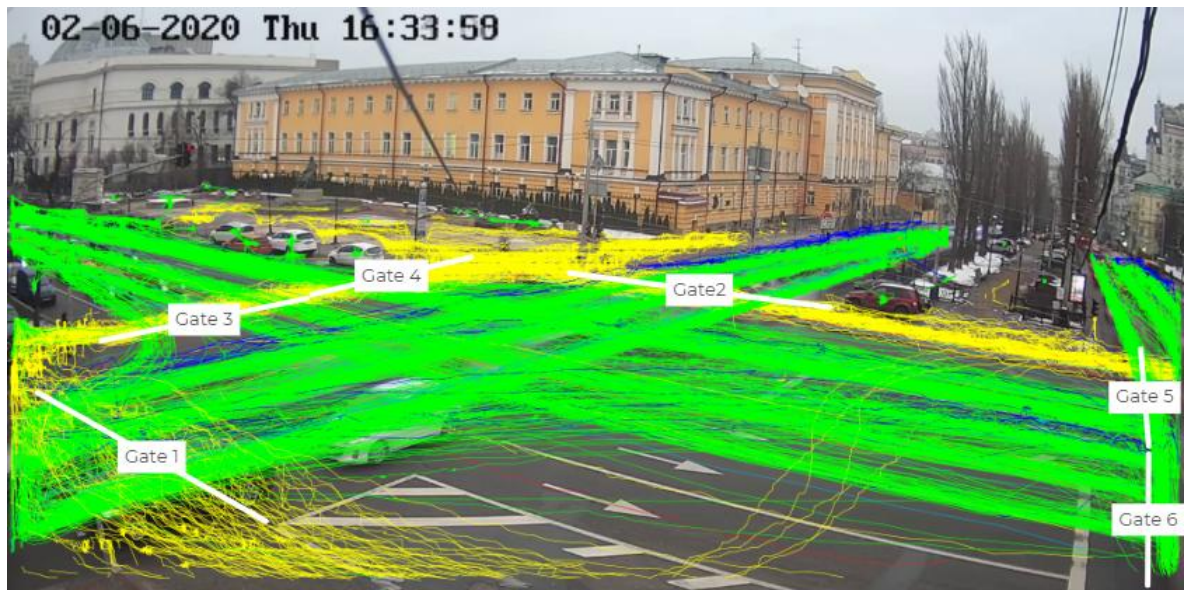


Рис.2.5. Встановлення лічильників в GoodVision Insight.

Траєкторії руху транспортних засобів представлені зеленим кольором, пішоходів – жовтим. Кореспонденції потоків між лічильниками задаються у блоці Movements та відповідають напрямкам руху, що утворюють OD-матрицю. Події, що визначають кількість транспортних засобів, які знаходяться у конкретній області певний період часу, представляють собою окремі зони. Події створено у відповідності до зонального маркування перехрестя в DataFromSky Viewer.

Налаштування конфігурації позначень дозволило отримати звіти по OD-матрицям по кожному напрямку руху для 7 типів об'єктів відстеження, перелічених у п.1.3 розділу 1 (окрім пішохідного руху, який в даній роботі не розглядається).

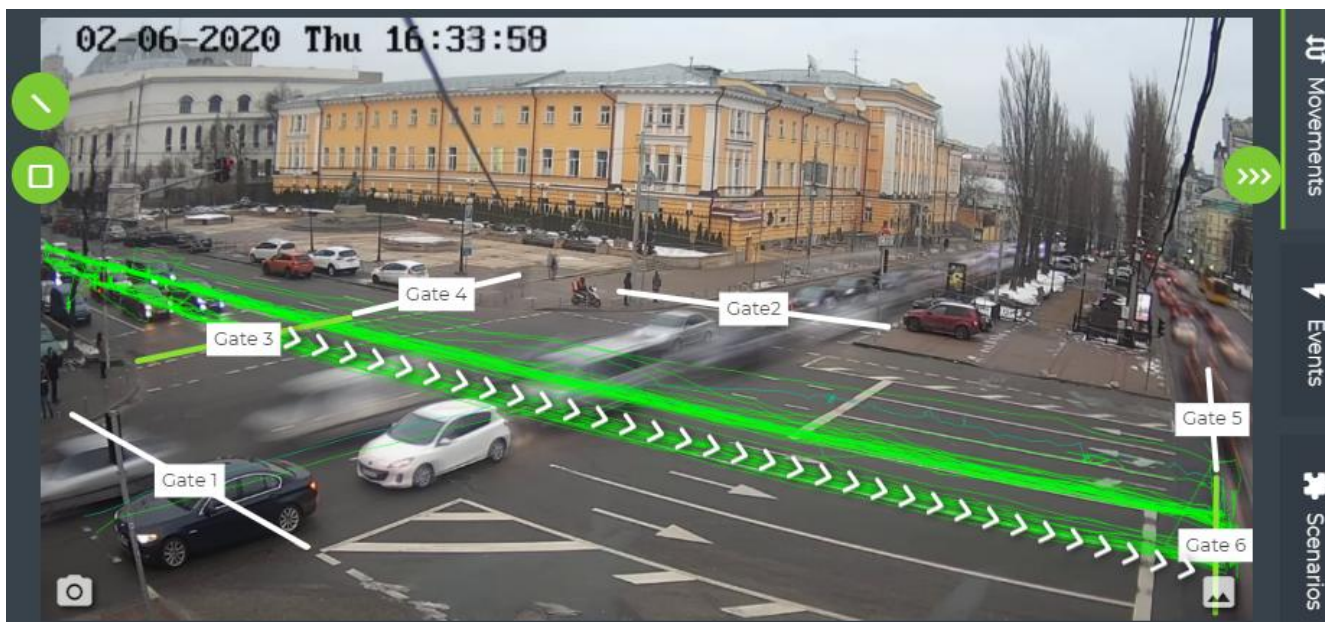


Рис.2.6. Маршрути руху транспортних засобів на перехресті (приклад для пари лічильників Gate 3 – Gate 6).

2.5. Порівняльний аналіз OD-матриць

Порівняння точності програм інтелектуального аналізу дорожнього руху DataFromSky Viewer та GoodVision Insight складається з таких етапів:

1. визначається абсолютна різниця між розпізнаними об'єктами по двом програмам у цілому та за різними типами транспорту (загальна статистика);
2. за допомогою DataFromSky Viewer та GoodVision Insight визначаються OD-матриці по кожному типу транспортних засобів та у цілому по перехрестю;
3. проводиться візуальне спостереження за складом та інтенсивністю транспортних потоків у лабораторних умовах, отримані дані приймаються за істинне значення та записуються в OD-матриці по кожному типу транспортних засобів та у цілому по перехрестю;
4. проводиться порівняння трьох отриманих OD-матриць за відносною похибкою вимірювань;

5. визначається загальна кількість об'єктів розпізнання в DataFromSky Viewer та GoodVision Insight по кожній OD-матриці, отримані значення порівнюються із даними загальної статистики із визначенням відсотку об'єктів, які не потрапили в OD-матриці.

6. проводиться порівняння фактичної загальної кількості по кожному типу об'єктів розпізнання та у цілому по перехрестю з кількісними показниками, отриманими за допомогою DataFromSky Viewer та GoodVision Insight, із визначенням відносної похибки вимірювань.

Загальна статистика ділянки показує кількість відстежуваних об'єктів за час спостереження, кількість автомобілів, у тому числі, легкових, вантажних транспортних засобів, автобусів, мотоциклів, велосипедистів, пішоходів, а також загальну відстань їздки та середню швидкість руху (табл.2.2).

Табл.2.2

**Загальна статистика перехрестя за даними DataFromSky Viewer та
GoodVision Insight**

Показник	DataFromSky	GoodVision	Різниця
Кількість об'єктів відстеження	1710	2484	774
Кількість легкових автомобілів	1231	1940	709
Кількість автомобілів середньої пасажиромісткості	0	0	0
Кількість вантажних автомобілів (легких, середніх, важких)	8	12	4
Кількість автобусів	20	32	12
Кількість фургонів	65	79	14
Кількість мотоциклів	8	7	1
Кількість велосипедів	3	4	1
Кількість пішоходів	375	410	35
Загальна пройдена відстань всіх об'єктів, м	107308	-	-
Середня відстань їздки, м	63,7	-	-
Середня швидкість руху у досліджуваній зоні, км/год.	10,50	-	-

З табл.2.3 видно, що найбільша абсолютна різниця між двома технологіями глибинного аналізу даних дорожнього руху спостерігається за кількістю автомобілів (709 об'єктів) та пішоходів (35 випадків ідентифікації). Платформа GoodVision Insight за кількістю легкових, вантажних автомобілів, автобусів, фургонів та пішоходів дає завищені у порівнянні з DataFromSky Viewer показники. Слід зауважити, що така ситуація спостерігається незважаючи на різницю у підходах до класифікації об'єктів розпізнання. Так, в DataFromSky Viewer вантажні автомобілі поділяються на легкі, середні та важкі, в GoodVision Insight такого розподілу не існує. В нашій роботі врахуванню підлягали усі три різновиди вантажних автомобілів з DataFromSky Viewer, загальна кількість яких порівнювалась із кількістю відповідних вантажних транспортних засобів за GoodVision Insight. Без проведення візуального спостереження за інтенсивністю та складом транспортних потоків загальна статистика не може служити інструментом аналізу точності досліджуваних програм.

У зв'язку з цим, наступним етапом було проведення лабораторного експерименту у вигляді візуального спостереження за складом та інтенсивністю транспортних потоків протягом усього відеофрагменту дорожнього руху на перехресті. Для надійності результатів спостереження проводились двічі по кожному типу транспортних засобів відповідно до визначених напрямків руху транспортних засобів, що проходять через встановлені віртуальні лічильники. Облікова картка для фіксації результатів спостережень представлена у табл. 2.3.

Табл.2.3.

Фрагмент облікової картки для збору фактичних показників за інтенсивністю транспортних потоків на перехресті

Тип об'єкту відстеження	Кореспонденції			
	Gate 2 → Gate 1	Gate 2 → Gate 4	Gate 2 → Gate 6	Gate 3 → Gate 1...
Легк.автомобіль	451	22	0	58...

Загальна кількість кореспонденцій становила 45, відповідно кількість спостережень – 90, що зайняло близько 36 годин чистого часу на проведення експерименту. Отримані показники приймалися за істинне (фактичне) значення.

Таким чином, були визначені OD-матриці по фактичним показникам інтенсивності руху транспортних засобів за такими типами: легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автобуси та фургони.

Узагальнення результатів експериментальних досліджень у вигляді відповідних OD-матриць представлено у табл.2.4 – табл.2.8.

Табл.2.4

OD-матриці за показниками інтенсивності руху досліджуваних типів транспортних потоків на перехресті у цілому*

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 1	Gate 4	Gate 6
Gate 2	350/382/501	21/23/22	0/0/0
Gate 3	54/61/59	0/0/0	123/54/169
Gate 5	97/19/131	89/76/189	0/3/0

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число – GoodVision Insight; третє число – істинне значення.

Табл.2.5

OD-матриці за показниками інтенсивності руху легкових автомобілів на перехресті *

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 1	Gate 4	Gate 6
Gate 2	324/352/451	21/23/22	0/0/0
Gate 3	53/58/58	0/0/0	119/53/158
Gate 5	83/12/110	86/75/179	0/3/0

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число – GoodVision Insight; третє число – істинне значення.

Табл.2.6

**OD-матриці за показниками інтенсивності руху вантажних автомобілів
на перехресті ***

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 1	Gate 4	Gate 6
Gate 2	2/3/4	0/0/0	0/0/0
Gate 3	0/0/0	0/0/0	1/0/3
Gate 5	1/1/1	0/0/0	0/0/0

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число – GoodVision Insight; третє число – істинне значення.

Табл.2.7

OD-матриці за показниками інтенсивності руху автобусів на перехресті *

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 1	Gate 4	Gate 6
Gate 2	0/6/8	0/0/0	0/0/0
Gate 3	0/1/0	0/0/0	0/0/0
Gate 5	8/4/11	0/0/0	0/0/0

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число – GoodVision Insight; третє число – істинне значення.

Табл.2.8

OD-матриці за показниками інтенсивності руху автобусів на перехресті *

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 1	Gate 4	Gate 6
Gate 2	24/21/38	0/0/0	0/0/0
Gate 3	1/2/1	0/0/0	3/1/8
Gate 5	5/2/9	3/1/10	0/0/0

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число – GoodVision Insight; третє число – істинне значення.

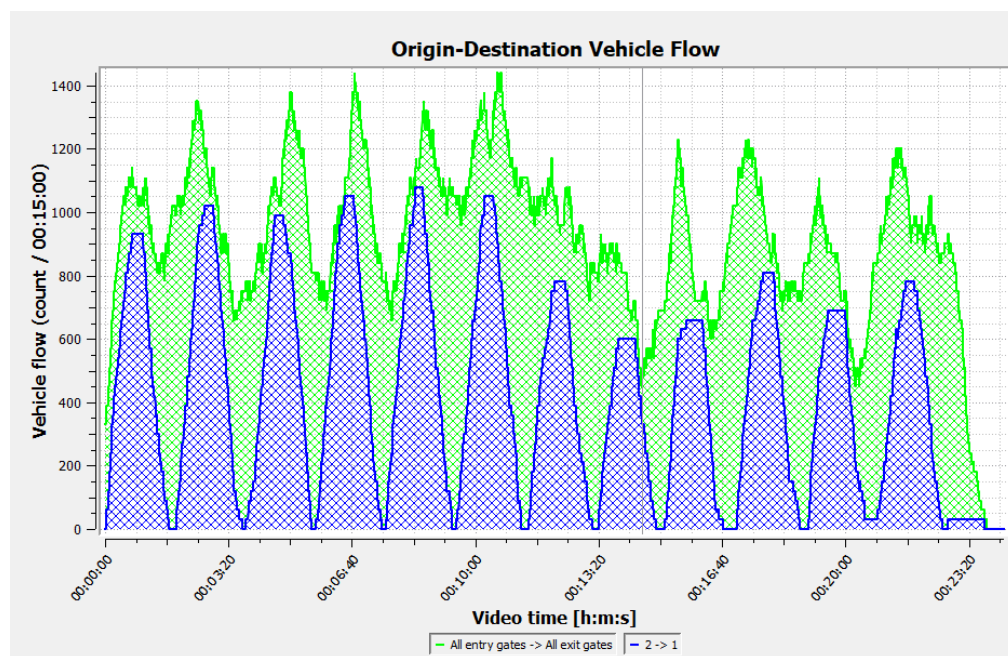


Рис.2.7. Інтенсивність транспортних потоків (авто/15 хв.) для всіх досліджуваних типів транспортних засобів та інтенсивність потоку на найбільш навантаженому напрямі (Gate 2 → Gate 1) відповідно до DataFromSky Viewer.

В DataFromSky Viewer є чудова можливість візуалізації результатів статистики матриць кореспонденцій у вигляді графіків (рис.2.7) та позначень робочого простору (рис.2.8).

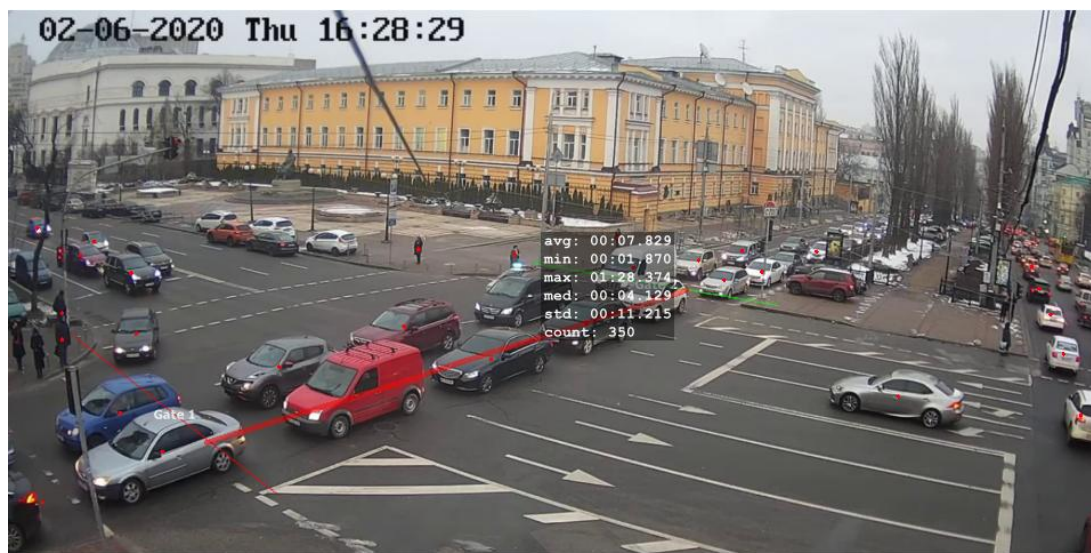


Рис.2.8. Позначення параметрів кореспонденції з найбільшою інтенсивністю руху (червона лінія).

Таким чином, за обома технологіями встановлено, що прямий напрямок руху транспортних засобів по вулиці «бульвар Т.Шевченко» убік МОН України характеризується потоками найбільшої інтенсивності. Кількість транспортних засобів у даному напрямку за час відеозапису у 24 хвилини становила 350, 382, 501 одиниць за результатами аналізу в DataFromSky Viewer, GoodVision Insight та лабораторного експерименту відповідно. Основний вклад в інтенсивність руху транспортних потоків вносять легкові автомобілі, доля яких становила за оцінками DataFromSky Viewer 93,4% від загальної кількості досліджуваних транспортних засобів, за оцінками GoodVision Insight – 93,2% згідно отриманих OD-матриць. Таким чином, для випадку перехрестя, що розглядається, питання розпізнання саме легкового автотранспорту визначає, перед усім, здатність штучного інтелекту того чи іншого програмного забезпечення даного класу до ідентифікації об'єктів відстеження.

Порівняння фактичних показників інтенсивності руху транспортних засобів з тими, що отримані у результаті аналізу в DataFromSky Viewer та GoodVision Insight дозволяє стверджувати, що заявлена розробниками даного програмного забезпечення точність результатів аналізу не виконується. Особливо це прослідковується на прикладі окремих кореспонденцій. Так, фактична кількість досліджуваних транспортних засобів у напрямку Gate 5 → Gate 1 (лівий поворот з вулиці Володимирівської на вул. «Бульвар Т.Шевченко» убік корпусу МОН) становила 131 одиниць, а за даними GoodVision Insight – 19, що говорить про злиття зображень транспортних засобів у поворотному потоці за даного кута встановлення камери спостереження, що знижує точність підрахунку інтенсивності. DataFromSky Viewer показала кращу здатність до розпізнання та підрахунку об'єктів відстеження на даному напрямку із показником 97 одиниць автотранспорту.

Непрямим показником точності автоматизованого підрахунку інтенсивності транспортних потоків може служити відсоток об'єктів розпізнання, які проходять через встановлені лічильники, та, відповідно, потрапляють в кореспонденції, що

розглядаються. Мова ведеться про прямий рух по вул. «Бульвар Т. Шевченко» убік Національного медичного університету імені О.О. Богомольця (на кадрі справа). Припустимо, що чим більший даний відсоток, тим достовірніше врахування програмою моменту проходження об'єкту через лічильник, тим ближче ідентифікація об'єкту, яка технічно виглядає у вигляді присвоювання йому ID номера та підрахунку як такого у загальному статистичному звіті, до розпізнання події проходження через лічильник, що є предметом аналізу руху. Виходячи з даного припущення, розраховано таблицю 2.9, у якій порівнянню підлягали дані по кожній OD-матриці.

Табл.2.9.

Порівняння кількості об'єктів по загальному звіту із сумарною інтенсивністю потоків по кожній OD-матриці

	DataFromSky		GoodVision		Відсоток об'єктів, які потрапили в OD-матрицю, %	
	Загалом	OD-матриці	Загалом	OD-матриці	DataFromSky	GoodVision
Кількість об'єктів відстеження, авто/24 хв.	1324	734	2063	618	55,4	29,9
Кількість автомобілів, авто/24 хв.	1231	686	1940	576	55,7	29,6
Кількість вантажних автомобілів, авто/24 хв.	8	4	12	4	50,0	33,3
Кількість автобусів, авто/24 хв.	20	8	32	11	40,0	34,3
Кількість фургонів, авто/24 хв.	65	36	79	27	55,3	34,1

Відповідно до табл.2.9, платформа DataFromSky в статистиці зародження-призначення врахувала у цілому 55,4% від загальної кількості об'єктів відстеження,

GoodVision – 29,9%, що може говорити про нижчу точність розпізнання стосовно останньої технології.

Кінцевий висновок про точність програм будемо роботи, спираючись на показник відносної похибки вимірювань:

$$I_{\text{відн}} = \left(\Delta I_{\text{Пз}ij} / I_{\text{Ф}ij} \right) \cdot 100\%$$

$\Delta I_{\text{Пз}ij}$ – різниця по модулю між показником інтенсивності, визначеним програмою, та фактичним показником інтенсивності; $I_{\text{Ф}ij}$ – фактичне значення інтенсивності руху, одиниць/24 хв.; i – порядковий номер типу автотранспорту, j – порядковий номер кореспонденції.

Узагальнюючі показники інтенсивності по кожному типу транспортних засобів, отримуємо табл.2.10. Величина відносної похибки розпізнання об'єктів відстеження у цілому для платформи DataFromSky становила 31,4%, GoodVision – 42,2%, для легкових автомобілів – 29,8% та 41,1% відповідно, що дозволяє вважати DataFromSky більш розвиненою технологією інтелектуального аналізу дорожнього руху.

Табл.2.9

Зведений звіт по точності розпізнання учасників дорожнього руху

Показник	OD-матриці		Факт	Відносна похибка, %	
	DataFromSky	GoodVision		DataFromSky	GoodVision
Кількість об'єктів відстеження, авто/24хв.	734	618	1071	31,4	42,2
Кількість автомобілів, авто/24хв.	686	576	978	29,8	41,1
Кількість вантажних автомобілів, авто/24 хв.	4	4	8	50,0	50,0
Кількість автобусів, авто/24 хв.	8	11	19	57,8	42,1
Кількість фургонів, авто/24 хв.	36	27	66	45,4	59,0

2.6. Висновки до розділу 2

1. Проведена постобробка відеозапису дорожнього руху на Х-подібному перехресті у центрі міста Київ (вулиця Володимирівська та вулиця «Бульвар Т.Шевченко» що характеризується значною інтенсивністю транспортних потоків, за допомогою DataFromSky Viewer та GoodVision Insight.

2. Лабораторний експеримент у вигляді порівняльного аналізу OD-матриць з програм DataFromSky та GoodVision з урахуванням класифікації транспортних засобів за типами дозволив встановити:

- найбільша абсолютна різниця між результатами по загальному статистичному звіту спостерігається за кількістю автомобілів (709 об'єктів) та пішоходів (35 випадків ідентифікації);

- відмінності у класифікаторах даних програм не мали значного впливу на кінцеву точність розпізнання учасників дорожнього руху;

- в результаті проведення візуальних спостережень отримано OD-матриці по фактичним показникам інтенсивності руху транспортних засобів за такими типами: легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автобуси та фургони;

- встановлено, що заявлена розробниками програмного забезпечення DataFromSky та GoodVision точність результатів аналізу (96%) не виконується;

- за відсотком об'єктів розпізнання із загальної кількості ідентифікованих об'єктів, які проходять через встановлені лічильники, та, відповідно, враховуються в OD-матрицях, DataFromSky має перевагу перед GoodVision (55,4% проти 29,9%);

- результати аналізу руху за допомогою DataFromSky мають меншу відносну похибку розпізнання для умов досліджуваного перехрестя у порівнянні з GoodVision (31,4% проти 42,2% для всіх досліджуваних об'єктів, 29,8% проти 41,1% для легкових автомобілів, число яких становить 93% від загальної кількості учасників руху).

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПІДРАХУНКУ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПЕРЕХРЕСТІ

3.1. Метод визначення ефективності автоматизації підрахунку показників інтенсивності дорожньому руху

Застосування прогресивної технології автоматизації підрахунку інтенсивності руху транспортних потоків на міських перехрестях представляє собою захід, який вимагає здійснення інвестицій, пов'язаних із підключенням до тарифного плану відповідного розробника програмного забезпечення для активації облікового запису із наданням кредитів для обробки відеозаписів дорожнього руху. Метою оцінки ефективності впровадження технології інтелектуального аналізу даних дорожнього руху, яка докорінно змінюватиме підхід до обробки польових показників дорожнього руху, є обґрунтування доцільності вкладення коштів для підключення до тарифного плану.

Економічний ефект визначатиметься економією витрат, пов'язаних із зниженням трудомісткості виконання робіт з підрахунку даних OD-матриць:

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

C_1 – експлуатаційні витрати на проведення візуального обліку транспортних потоків на відеозаписі руху та розрахунок OD-матриць;

C_2 – експлуатаційні витрати на автоматизований облік показників руху за допомогою програм DataFromSky/GoodVision.

Перша складова визначатиметься:

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

де T_{ij} – час, необхідний на виконання робіт j -того профілю (візуальний облік транспортних потоків на відеозаписі руху та розрахунок OD-матриць)

працівниками i -тої посади (обліковець дорожнього руху – traffic counter); N_{ij} – кількість виконавців i -тої посади, задіяних у роботі j -того профілю; p_{ij} – погодинна оплата j -тої праці i -того виконавця робіт.

Друга складова враховує автоматизований облік показників руху за допомогою відповідного програмного забезпечення:

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

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 – traffic modeler); 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.

Соціальним результатом застосування автоматизації підрахунку інтенсивності руху транспортних потоків за допомогою програм інтелектуального аналізу даних є:

- зміна умов праці працівників, пов'язана із необхідністю застосування комп'ютерної техніки;
- зміна чисельності працівників, які підлягають навчанню, перенавчанню, підвищенню кваліфікації для вивчення функціоналу та застосування на практиці програм інтелектуального аналізу дорожнього руху.

Зовнішній ефект від застосування автоматизації підрахунку інтенсивності руху транспортних потоків за допомогою програм інтелектуального аналізу даних полягає у тому, що підвищується рівень освіти працівників та вивільняється час на проведення досліджень автомобільних доріг, міської забудови та транспортних розв'язок.

3.2. Оцінка економічної ефективності застосування програм DataFromSky/GoodVision для аналізу дорожнього руху на перехресті

Визначення економічного ефекту від впровадження технології DataFromSky та GoodVision для автоматизованого підрахунку даних дорожнього руху проводилось на прикладі відеозапису руху на досліджуваному перехресті вулиць Володимирівській та «Бульвар Т.Шевченко».

Експлуатаційні витрати на проведення візуального обліку транспортних потоків на відеозаписі руху та розрахунок OD-матриць складатиме:

На виконання даних робіт було затрачено 36 годин. Середня погодинна ставка обліковця дорожнього руху становить 6,5 євро [14] (188,1 грн. при поточному курсі Національного банку).

$$C_1 = 36 \cdot 1 \cdot 188,1 = 6772 \text{ грн.}$$

На геореєстрацію, маркування робочого простору відеофрагменту в DataFromSky та експорт результатів аналізу руху було витрачено 28 хв. (0,47 год.). Середня погодинна ставка експерта з транспортного моделювання становить 8 євро (239,2 грн.) [18]. Для обробки відеозапису було витрачено 0,5 кредитів. Вартість одного кредиту для «light» режиму, який дозволяє обробити 1 годину відео з низько розташованих камер, становить 3,84 євро (115 грн.).

Звідси експлуатаційні витрати на автоматизований облік показників руху за допомогою програми DataFromSky становитимуть:

$$C_2 = 0,47 \cdot 1 \cdot 239,2 + 0,5 \cdot 115 = 170 \text{ грн.}$$

На позначення робочого простору у GoodVision витрачено 20 хв. (0,33 год.). Для обробки відеозапису було витрачено 0,67 кредитів, які були округлені

програмою до 1 кредиту. Вартість обробки одної години відеозапису, отриманого від стандартної міської камери, становить 4 євро (120 грн.).

Таким чином експлуатаційні витрати при застосуванні платформи GoodVision на обробку відеозапису досліджуваного перехрестя:

$$C_2 = 0,33 \cdot 1 \cdot 239,2 + 1 \cdot 120 = 200 \text{ грн.}$$

Результати оцінки економічного ефекту представлено у табл.3.1.

Табл.3.1

Економічний ефект від впровадження технології інтелектуального аналізу дорожнього руху для випадку досліджуваного перехрестя

Експлуатаційні витрати на проведення візуального обліку, грн.	Експлуатаційні витрати на автоматизований облік, грн.		Економічний ефект від впровадження, грн.	
	DataFromSky	GoodVision	DataFromSky	GoodVision
6772	170	200	6602	6572

Таким чином, для досліджуваного перехрестя економічний ефект, який може бути отриманий при застосуванні програм автоматизованої обробки даних руху у порівнянні із візуальним обліком, для DataFromSky становить 6602 грн., для GoodVision – 6572 грн. (нижче на 0,4%).

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ ІЗ ЗБОРУ ДАНИХ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

4.1. Загальні правила безпеки при визначенні інтенсивності руху та складу транспортного потоку

Проведення робіт зі збору польових даних дорожнього руху детально описано у національному стандарті ДСТУ 8824:2019 «Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку» [5]. Розділ 6 присвячено безпеці виконання таких робіт: «6.1 Виконання робіт з обліку руху потрібно виконувати з дотриманням вимог, інструкцій з безпечної експлуатації приладів та обладнання. 6.2 Для виконання робіт спеціалісти мають бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту згідно із чинними нормативними документами. 6.3 Під час виконання робіт необхідно дотримуватися правил з техніки безпеки».

Таким чином, основна увага приділяється безпечної експлуатації обладнання. Для досліджуваної технології у якості інструменту для запису відеороликів про стан на дорозі може виступати використання БПЛА.

4.2. Правила безпечної експлуатації БПЛА

Експлуатація БПЛА у військових цілях регламентується Наказом Міністерства оборони України від № 401 (від 10.08.2018) «Про затвердження Правил технічної експлуатації безпілотних авіаційних комплексів I класу державної авіації України» [10].

Для некомерційної експлуатації БПЛА вагою понад 250 г (але не більше 20 кг), необхідно зареєструвати дане обладнання на сайті Державіаслужби. Також

потрібно пройти тест Safety promotion. Здійснювати польоти дозволено на висоту до 120 м із максимальним віддаленням до 500 м — тобто у зоні прямої видимості.

Для комерційних вильотів пілот зобов'язаний мати сертифікат щодо пройденого навчання та дозвіл для експлуатації БПЛА. Умови виконання польотів аналогічні попередній категорії.

Відповідно до концепції регулювання напрямку БПЛА [9] загальними правилами безпечної їх експлуатації є:

1. Використання БПЛА передбачено лише в умовах прямого візуального контакту (VLOS) дистанційного пілота або візуального спостерігача без допомоги інших пристроїв.
2. При використанні БПЛА має бути задіяний візуальний спостерігач, якщо дистанційний пілот не має можливості візуально контролювати БПЛА.
3. Максимальна швидкість польоту БПЛА — 150 км/год.
4. Максимальна висота польоту складає 120 м над рівнем землі, а відстань – 500 м від дистанційного пілота, якщо не задіяний візуальний спостерігач.
5. Забороняється здійснення польотів у 8-кілометровому периметрі аеропорту, а також у заборонених зонах (у тому числі над територіями військових складів або частин).
6. Усі польоти БПЛА не повинні здійснюватися над людьми, окрім дистанційного пілота та візуального спостерігача.
7. Здійснення польотів дозволяється лише у світлу пору доби.
8. Дистанційний пілот може одночасно керувати тільки 1 БПЛА.
9. При використанні БПЛА дистанційний пілот має проводити перед польотний технічний огляд.
10. На БПЛА не повинно бути небезпечних матеріалів, окрім елементів живлення.
11. Дистанційний пілот повинен гарантувати нормальний фізичний та психологічний стан для безпечного керування безпілотним літальним апаратом.

ВИСНОВКИ

У роботі представлено порівняльне дослідження новітніх технологій обробки польових показників дорожнього руху за допомогою програм інтелектуального аналізу дорожнього руху DataFromSky та GoodVision, що використовують штучний інтелект для розпізнання учасників руху.

1. Дана технологія є такою, що постійно розвивається, при цьому щоразу додаються нові функціональні можливості щодо способів представлення результатів аналізу руху. Незважаючи на це, результати дослідження, представлені у даній роботі, показали, що точність розпізнання об'єктів відстеження у двох передових платформах не відповідає заявленої.

2. В основу методики визначення точності програм інтелектуального аналізу даних дорожнього руху покладено порівняння OD-матриць транспортних потоків, отриманих за допомогою досліджуваних програм з тими, що визначені методом візуального спостереження за відеорядом.

3. Проведено лабораторний експеримент, який полягав у виконанні порівняльного аналізу OD-матриць з програм DataFromSky та GoodVision з урахуванням складу транспортного потоку для відеоролику руху з міської камери на Х-подібному перехресті вулиць Володимирівської та «Булвар Т. Шевченко» у місті Київ.

4. В результаті проведення візуального обліку отримано OD-матриці по фактичним показникам інтенсивності руху транспортних засобів за такими типами: легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автобуси та фургони.

5. Встановлено, що відмінності у класифікаторах досліджуваних платформ не мали значного впливу на кінцеву точність розпізнання учасників дорожнього руху.

6. Вперше встановлено, що за відсотком об'єктів розпізнання із загальної кількості ідентифікованих об'єктів, які проходять через встановлені віртуальні

лічильники, та, відповідно, враховуються в OD-матрицях, DataFromSky має перевагу перед GoodVision (55,4% проти 29,9%).

7. Визначено відносну похибку розпізнання учасників руху для двох платформ. DataFromSky має меншу відносну похибку розпізнання для умов досліджуваного перехрестя у порівнянні з GoodVision (31,4% проти 42,2% для всіх досліджуваних об'єктів, 29,8% проти 41,1% для легкових автомобілів, число яких становить 93% від загальної кількості учасників руху).

8. Визначено економічний ефект від впровадження технології інтелектуального аналізу дорожнього руху у порівнянні із візуальним обліком. З урахуванням виконаної роботи по аналізу руху на перехресті він становить при використанні платформи DataFromSky – 6602 грн., GoodVision – 6572 грн. (нижче на 0,4%).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. К.: Мінрегіон України, 2018. – 61с.
2. Осетрін М.М. Коефіцієнти добового приведення інтенсивності руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста (на прикладі м. Києва) / М.М. Осетрін, Д.О. Беспалов, М.І. Дорош, В.Б. Петрук, І.В. Королевська // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2017. – Вип. 65. – С. 418-425.
3. Електронний ресурс: <https://goodvisionlive.com/>.
4. Електронний ресурс: <https://datafromsky.com/applications/traffic-counting/>
5. ДСТУ 8824:2019 Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 36с.
6. Сватко В.В. Методика визначення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля з використанням моделі ефективного транспортного засобу / В.В. Сватко // Modern directions of theoretical and applied researches / Транспорт і логістичні системи. – К., НТУ, 2013. (джерело електронного доступу: <https://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/march-2013>).
7. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. К.: Мінрегіон України, 2015. – 113с.
8. Електронний ресурс: <https://pro-mobility.org/2020/04/29/sposoby-pidvyshchennia-tochnosti-zboru-vykhidnykh-danykh-shliakhom-avtomatyzatsii-pidrakhunku-intensyvnosti-rukhu-transportu-ta-pishokhodiv/>
9. Електронний ресурс: <https://nachasi.com/2017/07/04/drone-rules/>
10. Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1062-18>

11. Danescu, R., Oniga, F., Nedevschi, S. and Meinecke, M., 2009. Tracking multiple objects using particle filters and digital elevation maps. In: 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 88–93.
12. Gleason, J., Nefian, A., Bouysse, X., Fong, T. and Bebis, G., 2011. Vehicle detection from aerial imagery. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2065–2070.
13. Kozempel, K. and Reulke, R., 2009. Fast vehicle detection and tracking in aerial image bursts. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 38(3), pp. 175 – 180.
14. Lee, J.-N. and Kwak, K.-C., 2014. A trends analysis of image processing in unmanned aerial vehicle. *International Journal of Computer, Information Science and Engineering*, 8(2), pp. 2 – 5.
15. Lin, R., Cao, X., Xu, X., Wu, C. and Qiao, H., 2009. Airborne moving vehicle detection for video surveillance of urban traffic. In: 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 203–208.
16. Moranduzzo, T. and Melgani, F., 2014. Automatic car counting method for unmanned aerial vehicle images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(3), pp. 1635–1647.
17. Nguyen, T. T., Grabner, H., Gruber, B. and Bischof, H., 2007. On-line boosting for car detection from aerial images. In: IEEE International Conference on Reasearch, Innovation and Vision for the Future, pp. 87–95.
18. Selvakumar, S. and Kalaivani, S., 2013. Comparative study on vehicle detection techniques in aerial surveillance. *International Journal on Cybernetics & Informatics*.
19. Tuermer, S., Leitloff, J., Reinartz, P. and Stilla, U., 2010. Automatic vehicle detection in aerial image sequences of urban areas using 3d hog features. *Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis*, 28, pp. 50–54.