

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему **Визначення LOS та MOEs транспортної інфраструктури при використанні OD-матриць з відеоаналізу дорожнього руху**

Виконав:

студентка 3 курсу, групи ТТ-17ск _____ А.А. Лисицина
(шифр групи) (підпис) (прізвище та ініціали)

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

Завідувач кафедри:

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

Кривий Ріг – 2020 р.

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

Лисициної Анні Андріївни

1. Тема *Визначення LOS та MOEs транспортної інфраструктури при використанні OD-матриць з відеоаналізу дорожнього руху*

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

затверджені наказом університету від “__” ____ 2020 року №__

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат 06.06.2020

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Аналіз критерію LOS та показників MOEs. 2.Аналіз сучасного стану технології комп’ютерного зору для оцінки руху. 3. Розробка загальної методики досліджень транспортної інфраструктури. 4. Дослідження MOEs ділянки транспортної мережі на основі результатів відеоаналізу руху. 5 Розрахунок вартості автоматизації визначення LOS ТА MOEs. 6. Рекомендації щодо збору вихідних даних руху.

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

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

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Розробка методики дослідження МОЕс ділянок транспортної мережі	12.05-18.05	
2	Дослідження МОЕс ділянки транспортної мережі на основі результатів відеоаналізу руху	18.05-29.05	
3	Розрахунок вартості автоматизації визначення LOS та МОЕс	29.05-30.05	
4	Рекомендації щодо збору вихідних даних руху	29.05-30.05	
5	Оформлення пояснювальної записки і презентації	30.05-06.06	

Студент

(підпис)

А.А. Лисицина

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Сістук

РЕФЕРАТ

При використанні результатів транспортного моделювання при виробленні управлінських рішень оцінка ділянок дорожньої мережі з позиції рівня обслуговування виглядає перспективним напрямком. У той же час, останнім часом поступово набувають поширення методи збору вихідних даних для розробки імітаційних моделей на основі відеозаписів руху. Отримані в результаті постобробки відеофрагменту руху дані дають можливість більш якісно провести процедуру калібрування імітаційної моделі, а значить, точніше визначити не тільки рівень обслуговування ділянки (LOS), а й показники ефективності руху у цілому (Measures of effectiveness (MOEs)), що позитивно впливатиме на подальше прийняття рішень по організації руху. Таким чином, виникає потреба у розв'язанні задачі розробки методу оцінки LOS та MOEs на основі калібрування імітаційної моделі за результатами відеоаналізу дорожнього руху.

У роботі представлена методика комплексної автоматизації оцінки ефективності дорожнього руху на ділянках транспортних мереж – від збору вихідних даних до визначення рівня обслуговування ділянки. Для цього використано поєднання програми інтелектуального відеоаналізу руху та імітаційного мікромоделювання. Об'єктом дослідження виступив інтегральний критерій (LOS) та узагальнені показники ефективності руху (MOEs) на об'єктах транспортної інфраструктури, предметом дослідження – методологія оцінки дорожнього руху, заснована на визначенні LOS та MOEs у результаті калібрування імітаційної моделі кільцевої розв'язки.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи – 46 с, 12 рисунків, 10 таблиць.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИКА ОЦІНКИ MOEs ДІЛЯНОК ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ	9
1.1. Система критеріїв оцінювання (MOEs) ділянок вулично-дорожніх мереж	9
1.2. Визначення LOS	13
1.3. MOEs у програмному забезпеченні VISSIM.....	17
1.4. Відеоаналіз руху як метод збору вихідних даних та калібрування імітаційної моделі	19
1.5. Загальна методика досліджень	20
1.6. Висновки до розділу 1.	21
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ MOEs ДІЛЯНКИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВІДЕОАНАЛІЗУ РУХУ.....	22
1.1.Відеоаналіз руху досліджуваної ділянки.....	22
1.2. Статистичний звіт по динаміці руху та підрахунку кількості об'єктів розпізнання	23
1.3. Калібрування VISSIM-моделі ділянки на основі даних відеоаналізу	28
1.4. Визначення MOEs	32
1.5. Оцінка LOS	34
1.6. Висновки до розділу 2	35
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА СКЛАДОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РУХУ	37
3.1 Метод розрахунку вартості автоматизації визначення LOS ТА MOEs	37
3.2. Приклад розрахунку для досліджуваного перехрестя	38

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗБОРУ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ	40
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Актуальність теми. У проектах організації дорожнього руху фахівці стикаються з проблемою пошуку загальновизнаної методики оцінки мережі, яка б була включена в нормативні документи і керівництва з проектування. На сьогодні набув використання інтегральний критерій – показник рівня обслуговування ділянки мережі (Level of Service, LOS). Методика визначення даного показника отримала назву так званої HCM-методики. При використанні результатів транспортного моделювання при виробленні управлінських рішень оцінка ділянок дорожньої мережі з позиції рівня обслуговування виглядає перспективним напрямком. У той же час, останнім часом поступово набувають поширення методи збору вихідних даних для розробки імітаційних моделей на основі відеозаписів руху. Отримані в результаті постобробки відеофрагменту руху програмами штучного інтелекту матриці зародження-призначення, показники динаміки руху по кожному об'єкту відстеження дають можливість більш якісно провести процедуру калібрування імітаційної моделі, а значить, точніше визначити не тільки LOS, а й показники ефективності руху на перехресті у цілому, так звані Measures of effectiveness (MOEs), що позитивно впливатиме на подальше прийняття рішень по організації руху.

Таким чином, виникає потреба у розв'язанні задачі розробки методу оцінки LOS та MOEs на основі калібрування імітаційної моделі за результатами відеоаналізу дорожнього руху.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є визначення LOS та MOEs транспортної інфраструктури при використанні результатів відеоаналізу дорожнього руху.

Задачі дослідження:

- провести аналіз критеріїв оцінки прийняття рішень при проектуванні, експлуатації, оптимізації вулично-дорожніх мереж, удосконалення організації руху та можливості їх застосування для практичних цілей;

- розробити алгоритм оцінки дорожньої мережі за LOS та MOEs на основі калібрування імітаційної моделі у програмі PTV VISSIM показниками, отриманими в результаті відеоаналізу дорожнього руху;

- перевірити ефективність розробленого алгоритму оцінки дорожньої мережі шляхом виконання дослідження однієї з головних транспортних розв’язок у місті Кривий Ріг;

- визначити економічну ефективність отриманих рішень.

Об’єкт дослідження – інтегральний критерій (LOS) та узагальнені показники ефективності руху (MOEs) на об’єктах транспортної інфраструктури.

Предмет дослідження – методологія оцінки дорожнього руху, заснована на визначенні LOS та MOEs у результаті калібрування імітаційної моделі кільцевої розв’язки.

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

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена процедура оцінки дорожньої мережі може слугувати практичним керівництвом для прийняття рішень в області організації руху.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань. Загальний обсяг роботи – 46 с, 12 рисунків, 10 таблиць.

РОЗДІЛ 1. МЕТОДИКА ОЦІНКИ МОЕ_s ДІЛЯНОК ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

1.1. Система критеріїв оцінювання (МОЕ_s) ділянок вулично-дорожніх мереж

Існує два принципово різних підходи до оцінки дорожньої мережі – використання часткових критеріїв і використання інтегрального критерію. Для об'єктивного зіставлення теорії і практики оцінки дорожньої мережі на основі інтегрального критерію і альтернативної йому системи часткових критеріїв коротко розглянемо останні.

Численні критерії оцінки якості функціонування дорожньої мережі розглянуті за останні роки в багатьох публікаціях [19, 15].

Згідно [21] формалізації і кількісному опису піддаються:

- економічні показники оцінки стану організації руху;
- показники безпеки дорожнього руху;
- показники екологічної безпеки;
- показники стійкості функціонування мережі.

Часткові критерії оцінювання мережі можна також класифікувати за видами дорожнього руху і елементами мережі. Дана класифікація узагальнена у табл.1.1 [18].

Табл.1.1

Критерії оцінки організації руху на ділянках мережі

Вид руху	Елемент ВДМ	Критерії оцінки
Транспортні засоби	1	2
	-Перегон вулиці або дороги	-Пропускна здатність Швидкість

	-Розв'язки в різних рівнях	-Пропускна здатність
	-Кільцеві перетини	-Пропускна здатність Середня затримка Сумарна затримка Довжина черги
	Регульовані перетини	-Пропускна здатність Середня затримка Сумарна затримка Довжина черги Доля транспортних засобів, що зупинились
	Нерегульовані перетини	-Пропускна здатність Середня затримка Сумарна затримка Довжина черги Доля транспортних засобів, що зупинились
	ВДМ	-Пропускна здатність Сумарна затримка Час сполучення Кількість зупинок (при русі по мережі)
Пішоходи	Тротуари	-Пропускна здатність Щільність потоку Швидкість
	Нерегульовані переходи	-Середня затримка Розмір черги
	Регульовані переходи	- Пропускна здатність Середня затримка Розмір черги

Вважається, що визначальним показником оцінювання функціонування мережі є інтенсивність руху транспортного потоку [6]. Під інтенсивністю руху транспортного потоку розуміють загальну кількість транспортних засобів, що пройшла через поперечний переріз дороги за одиницю часу.

Однак, у складі транспортних потоків рухаються транспортних засобів різних типів з не однаковими розмірами і тому вони по-різному впливатимуть на таких самих учасників дорожнього руху. У зв'язку з цим, у розрахунках оперують

не фізичним значенням інтенсивності, а зведеним до умовного легкового автомобіля за допомогою відповідних коефіцієнтів приведення [6].

Ще одним визначальним параметром під час проектування та аналізу роботи мережі є потік насичення (Saturation flow) – це максимальний потік транспортних засобів з черги безкінечної довжини перед стоп-лінією, які рухаються на дозвільний сигнал світлофора і проїжджають перехрестя упродовж цього сигналу. Під час проектування чи вдосконалення режиму регулювання перехресть використовують значення ідеального потоку насичення та коефіцієнти його коригування, які враховують місцеві умови [6].

Якісними критеріями оцінки є затримка (середня і загальна), тривалість руху, кількість зупинок, середня швидкість руху, довжина черги (середня і максимальна), тривалість заторів, ймовірність проїзду на перший дозвільний сигнал світлофора, пропускна здатність, симетрія керування (відносно напрямків руху чи потоків, що конфліктують), ефективність використання мережі, викиди шкідливих речовин у довкілля, транспортний шум, витрати палива тощо. Так, за значної інтенсивності руху критеріями можуть бути тривалість поїздки, затримки та пропускна здатність [4].

За малої інтенсивності руху зручно використовувати як критерій «кількість зупинок». Проте, такий параметр складно розрахувати теоретично, оскільки важко визначити не лише мінімальне значення швидкості, що відповідає зупинці, але і саме значення швидкості. Тому як критерій за малої інтенсивності руху також використовують затримку.

У разі заторів або щільних транспортних потоків ні затримку, ні тривалість поїздки не можна використовувати як критерій, оскільки вони не мають стаціонарних значень, а радше володіють ефектом нагромадження в часі. У цьому разі як критерій обирають довжину черги або тривалість існування затору [20].

Зважимо на те, що одним із найпоширеніших критеріїв в оптимізації управління дорожнім рухом є середня затримка транспортних засобів перед перехрестям [7]. Тривалість середньої затримки транспортних засобів отримала широке застосування в якості критерію оптимізації управління на окремому перетині. Встановлено, що середня затримка тісно корелює з такими показниками, як інтенсивність руху, довжина черги, сумарна затримка, параметрами режиму регулювання.

Слід зауважити, що для детерміністичних підходів при оцінці мережі, точність методики розрахунку величини середньої затримки має принципове значення, оскільки на основі величини середньої затримки оцінюється довжина черг і, відповідно, визначається сумарна затримка.

Максимальною затримкою вважається найбільша затримка одного з транспортних засобів за аналізований період. Тісно корелює з величиною вхідного на перехрестя потоку і довжиною черги на підході до перехрестя. Тривалість максимальної затримки може використовуватися як показник ступеня перенасичення перехрестя, однак сама методика її визначення значно складніша, ніж для інших видів затримок. В цьому зв'язку її розглядають головним чином як визначник.

Під довжиною черги розуміється кількість транспортних засобів в ній або її протяжність в лінійних одиницях (як правило в метрах). При досягненні стану насичених потоків, коли завданням управління стає мінімізація ймовірності виникнення затору, довжина черги і пов'язані з нею показники вважаються найбільш прийнятними для управління мережею.

Ще одним критерієм, заснованим на довжині черги, який можемо використовувати при прийнятті рішень, є відношення довжини черги до довжини перегону; при цьому за довжину перегону приймається відстань від розглянутого перехрестя до попереднього по ходу руху.

1.2. Визначення LOS

В США рівень обслуговування став основним критерієм оцінки якості організації руху і був включений до нормативних документів, перед усім, до вказівок по оцінці пропускну здатності Highway Capacity Manual (далі HCM) [18]. Спочатку цей критерій був запропонований для перегонів доріг і вулиць. Поділ на рівні обслуговування мало на меті транслювати численні параметри, що характеризують функціонування автомобільного транспорту і доріг, в більш просту і доступну для розуміння шкалу оцінки. За основу градації рівнів обслуговування (табл.1.2) був прийнятий коефіцієнт завантаження – відношення інтенсивності руху до пропускну спроможності.

Табл.1.2

Градації рівнів обслуговування

Рівень обслуговування	Рівень завантаження	Характеристика умов руху
A	$\leq 0,1$	Вільний потік
B	$\geq 0,1$	Стійкий потік
C	$\geq 0,3$	Стійкий потік
D	$\geq 0,7$	Потік, що наближається до нестійкого
E	$\geq 1,0$	Нестійкий потік

Останнє видання керівництва (2016р.) зазнало значних змін: в нього включені показники LOS майже для всіх елементів ВДМ, розглянуто якість обслуговування пішохідного та велосипедного руху, якість обслуговування ВДМ громадським пасажирським транспортом.

В останньому виданні HCM [18] запропоновані показники LOS для більшості елементів мережі (табл. 1.3). Природньо, що для кожного виду руху (транспорт, пішоходи) і кожного типу елементів мережі (перегони, перехрестя, тротуари,) використовуються свій певний показник і відповідний метод його

визначення. У своєму первісному вигляді показник рівня обслуговування був інструментом оцінки конкретного елемента мережі на основі даних, одержуваних в результаті обстежень і розрахунків.

Табл.1.3 [18]

Елементи мережі та види руху, що розглядаються в НСМ 2016

Елемент ВДМ	Показники рівня обслуговування
<i>Рух, що переривається (регульовані та нерегульовані перехрестя, на яких відбувається затримка ТЗ)</i>	Автомобільний транспорт
Міські вулиці	Швидкість
Регульовані перетини	Затримка
Нерегульовані перетини	Те ж
Нерегульовані перетини із зупинкою при русі	÷
Кільцеві перетини	-
Рампи розв'язок	Затримка
<i>Безперервний рух</i>	
Вулиці з двосмуговими проїжджими частинами	Швидкість, доля часу слідування за лідером
Вулиці з багатосмуговими проїжджими частинами	Щільність
Міські швидкісні дороги:	Те ж
Перегони	÷
Відгалужування з'їздів (рамп)	÷
Примикання з'їздів (рамп)	÷
Ділянки перетинання потоків	Швидкість
<i>Маршрутний пасажирський транспорт</i>	-
<i>Пішоходи</i>	Простір, затримка
<i>Велосипедисти</i>	Те ж

В останньому виданні керівництва HCM 2000 [18] градація рівнів обслуговування для умов безперервного руху отримала деякі уточнення.

Для еталонних перегонів міських доріг з безперервним рухом прийняті нижченаведені значення пропускної здатності смуги руху (табл.1.5).

Табл.1.4

Діапазони рівнів обслуговування на перегонах доріг при безперервному русі в HCM 2016

Рівень обслуговування	Щільність потоку, одиниць/км
A	≤ 7
B	7,11 – 11,0
C	11,1 – 16,0
D	16,1 – 22,0
E	22,1 – 28,0
F	$> 28,0$

Середня затримка, або тривалість обслуговування є одним з найбільш часто використовуваних критеріїв якості функціонування систем масового обслуговування. Природно, що показником рівня обслуговування транспортних засобів на регульованих перетинах традиційно служить величина середньої затримки.

У HCM 2016 [18] в якості показника рівня обслуговування на регульованих і нерегульованих перехрестях використовується так звана затримка, спричинена регулюванням (Control Delay).

У зв'язку із застосуванням нового критерію межі рівнів обслуговування на регульованих перетинах отримали зміни (табл.1.5).

Табл.1.5

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

Рівень обслуговування	Умови руху	Час, с
A	Затримка відсутня або мала	≤ 5
B	Незначна тривалість циклу регулювання, добра координація	5,1 – 15

C	Тривалість циклу регулювання зросла, достатньо добра координація	15,1 – 25
D	Значна тривалість циклу регулювання, достатньо добра координація	25,1 – 40
E	Значна тривалість циклу регулювання, погана координація	40,1 – 60
F	Умови руху неприйнятні для більшості водіїв, інтенсивність на підходах перевищує пропускну здатність перехрестя	>60

Далі цей показник будемо називати затримкою, викликаної організацією руху, і позначати ACD (Average Control Delay) – табл.1.6.

Табл.1.6

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

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

У разі нерегульованих перехресть діапазони рівнів обслуговування виглядають так, як показано у табл.1.7 [18].

Табл.1.7

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

Рівень обслуговування	ACD, с
A	≤ 10
B	10,1 – 15
C	15,1 – 25
D	25,1 – 35
E	35,1 – 50
F	>50

1.3. MOEs у програмному забезпеченні VISSIM

Загальний алгоритм розбудови імітаційної моделі представлено на рис.1.1.



Рис.1.1. Алгоритм дослідження мережі на основі її програмного мікромодельовування

Перше зіставлення НСМ-методу визначення рівня обслуговування мережі та її оцінки на основі створення та аналізу комп'ютерної моделі, дозволило встановити, що НСМ-метод базується на дослідженні рухів окремих транспортних засобів, тому його використання ближче до методу мікромодельовування, ніж до транспортного планування.

У порівнянні з емпіричними та аналітичними моделями, імітаційні моделі прогнозують ефективність (MOEs) протягом певного періоду, забезпечують відстеження подій, коли стан системи розгортається у часі і просторі.

Порівняння критеріїв оцінки мережі, які можна отримати за HCM-методом та при моделюванні в PTV VISSIM, представлено в табл.1.8. Отже, величина щільності транспортного потоку, транспортна затримка, коефіцієнт завантаження є розрахунковими показниками, що не визначаються безпосередньо у результаті аналізу імітаційної моделі.

Коефіцієнт завантаження (Volume to capacity (v/c) ratio) не можна визначити через імітаційне моделювання в VISSIM по причині стохастичності даних показників. Звичайним є визначення завантаження при детерміністичному підході. Хоча можливо визначити пропускну здатність у будь-який момент часу у проміжку мікромоделювання, це значення не може представляти потужність транспортного вузла в інший заданий час в процесі моделювання.

Табл.1.8

Зіставлення критеріїв оцінки мережі, які можна отримати за HCM-методом та при моделюванні в PTV VISSIM

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

Інтервал руху громадського транспорту є вихідним показником в PTV VISSIM.

PTV VISSIM також опційно дозволяє визначити затримку транспортних засобів. Однак даний показник не є ідентичним показнику затримки при застосуванні HCM-методу. Вважається, що правильно відкалібровані мікроскопічні імітаційні моделі визначають затримки, які більш точно відображають польові умови, пов'язані з геометричними даними мережі, потоками різних видів транспорту, ніж детерміністичні методи, подібні до тих, що входять в HCM [18].

1.4. Відеоаналіз руху як метод збору вихідних даних та калібрування імітаційної моделі

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 щодо її актуальності, повноти, об'єктивності. Однак підрахунок інтенсивності транспортних потоків за допомогою візуального спостереження у польових умовах 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 [10].

Подоланню цих недоліків сприяє використання методів автоматизованого збору та обробки даних дорожнього руху. Результати постобробки відеофрагменту можуть також служити параметрами калібрування імітаційної моделі. Для програмного забезпечення інтелектуального відеоаналізу даних дорожнього руху DataFromSky такими параметрами можуть виступати:

- протокол журналу відстеження;

- OD-матриці (зародження-призначення) за кількістю підрахованих об'єктів розпізнання та тривалістю окремих маршрутів;
- статистика проходження об'єктів розпізнання через віртуальні лінії на робочому просторі (лічильники – Gates), які визначаються конфігурацією позначень;
- дані про склад транспортних потоків;
- статистичний звіт по динаміці руху із вказанням мінімальних, середніх, максимальних значень швидкостей руху, прискорень, уповільнень по кожному об'єкту розпізнання.

1.5. Загальна методика досліджень

Оцінка показників ефективності руху на перехресті складається з таких основних етапів:

- відеоаналіз дорожнього руху у програмному середовищі DataFromSky;

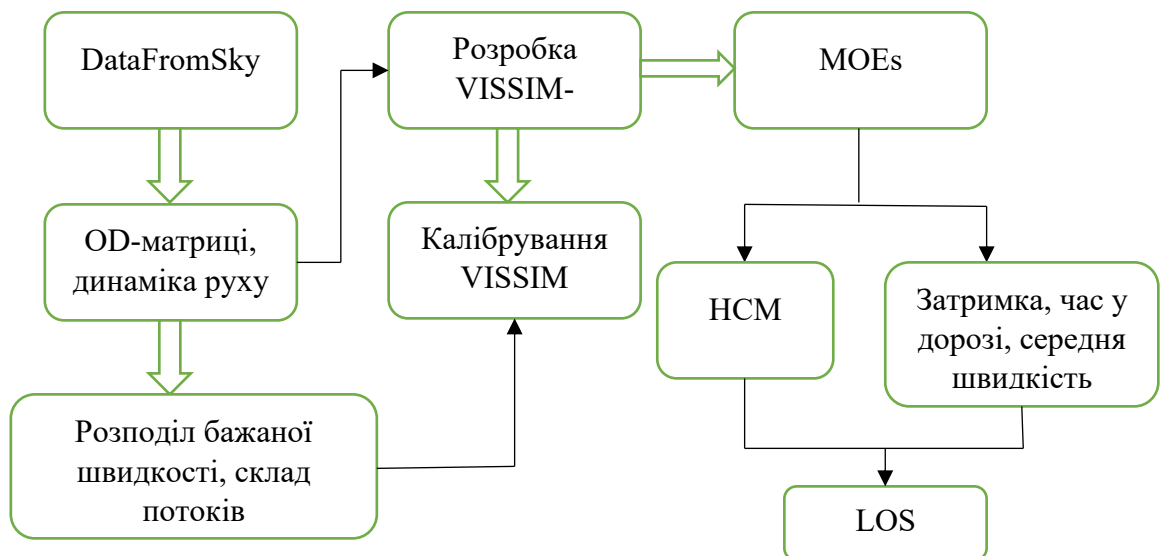


Рис.1.2. Загальна методика досліджень

- статистичний аналіз динаміки руху та OD-матриць, отриманих в DataFromSky Viewer;

- створення VISSIM-моделі перехрестя за вихідними даними відеоаналізу;
- калібрування VISSIM-моделі перехрестя за законом розподілу бажаної швидкості руху та складом транспортного потоку,
- порівняння OD-матриць з показниками часу у дорозі за результатами моделювання в VISSIM;
- визначення MOEs (середня затримка, середня швидкість руху, довжина черги, середній час у дорозі);
- розрахунок LOS за отриманими показниками ефективності та за допомогою HCM.

1.6. Висновки до розділу 1.

1. Розглянуто особливості часткових критеріїв оцінки дорожніх мереж та можливості їх застосування для практичних цілей: інтенсивності транспортного потоку, транспортної затримки, довжини черги, пропускної здатності, потоку насичення, швидкості сполучення.

2. Проведено аналіз застосування інтегрального критерію рівня обслуговування (LOS-критерію) мережі та окремих її елементів, перспективу розвитку методики його визначення.

3. Виконано порівняльний аналіз методики визначення LOS-критерію та імітаційного моделювання.

4. Проведено аналіз вихідних показників відеоаналізу руху у якості параметрів калібрування імітаційної моделі.

5. Представлено алгоритм процедури оцінки ефективності мережі із застосуванням відеоаналізу руху, імітаційного моделювання та визначення часткових (MOEs) та інтегрального показника ефективності організації руху (LOS).

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЕs ДІЛЯНКИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВІДЕОАНАЛІЗУ РУХУ

1.1.Відеоаналіз руху досліджуваної ділянки

У даній роботі для відеозапису дорожнього руху за приклад прийнята кільцева розв'язка у центрі міста Кривий Ріг (Площа Горького – 95-й квартал) [1].

Відеозапис отримано з камери відеоспостереження, розташованої в офісній будівлі за адресою «Проспект Металургів, 37», де розташований офіс мобільного оператора Київстар (рис.2.2). Частота кадрів вихідного відео становила 25 кадрів/с, кількість кадрів – 154818, роздільна здатність відеопотоку – 1280 на 720 пікселів, що відповідає технічним умовам розробника програмного забезпечення DataFromSky Viewer [10]. Тривалість відеоролику – 1 година 45 хвилин.

В DataFromSky Viewer для створення лічильників, смуг та прихованих зон, областей руху та дії необхідно налаштувати конфігурацію відповідного позначення кадру (*Manage Annotation Configuration*). Створені позначення робочого простору в Datafromsky Viewer представлено на рис.2.1. Конфігурація позначень робочого простору, яка складається з 17 смуг, 12 лічильників, області дій, області руху.



Рис.2.1. Конфігурація позначень в DataFromSky Viewer

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

Номер та позначення лічильника	Тип лічильника	Напрямок транспортного потоку
Gate 1	Вхідний	В'їзд з проспекту Миру на кільце
Gate 2	Вихідний	Виїзд з кільця на проспект Металургів
Gate 3	Вихідний	Виїзд з кільця на проспект Миру
Gate 4	Вхідний	В'їзд з проспекту Гагаріна на кільце
Gate 5	Вихідний	Виїзд з кільця на проспект Гагаріна
Gate 6	Вхідний	В'їзд з проспекту Металургів на кільце
Gate 7	Вихідний	Виїзд з кільця на вулицю Волгоградську
Gate 8	Вхідний	В'їзд з вулиці Волгоградської на кільце

Конфігурація позначень послужила основою для розрахунку OD-матриць транспортних потоків на перехресті.

1.2. Статистичний звіт по динаміці руху та підрахунку кількості об'єктів розпізнання

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

Для визначення годинної інтенсивності руху використано відрізок часу у 1 годину замість тривалості повного відеоролику. У результаті отримано таку OD-матрицю (рис.2.2).

Максимальною інтенсивністю руху характеризується маршрути від вхідного лічильника 8 до вихідного лічильника під номером 2– від вулиці Волгоградської до проспекту Металургів, а також до вихідного 3 – те ж, до проспекту Миру) та 5 – те ж, до проспекту Гагаріна.

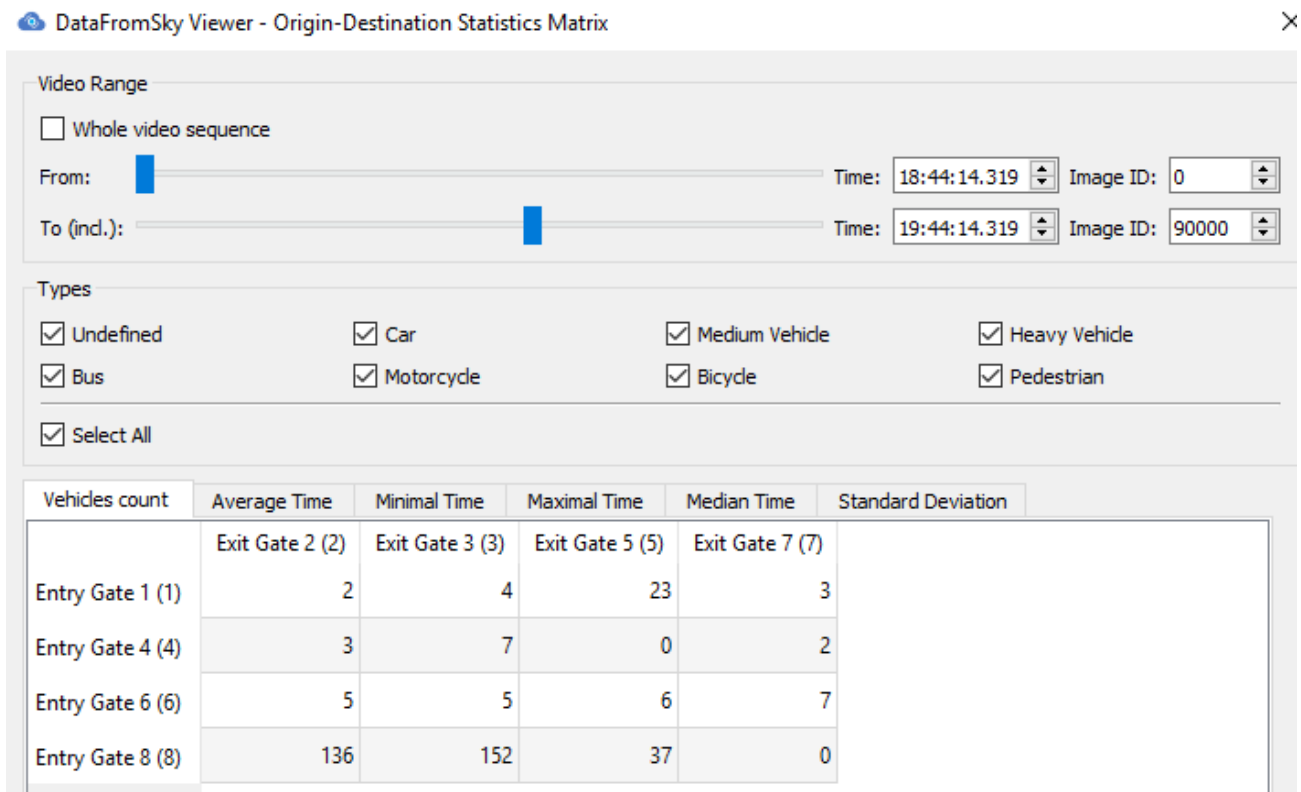


Рис.2.2. OD-матриця за кількістю транспортних засобів на маршруті протягом 1 години.

За середнім часом руху на маршруті виділяються маршрути: від вхідного лічильника 6 до вихідного лічильника під номером 2– розворот по кільцю з проспекту Металургів; від вхідного лічильника 8 до вихідного лічильника під номером 5 – з вулиці Волгоградської до проспекту Гагаріна; від вхідного лічильника 1 до вихідного 3– розворот по кільцю з проспекту Миру; від вхідного лічильника 1 до вихідного 7– рух з проспекту Миру до вулиці Волгоградської (рис.2.3).

Вхідною інтенсивністю руху (*Vehicle Inputs*) [17] для мікромодельовання в VISSIM послужив звіт про рух (*Traffic Analysis*) з DataFromSky, відповідно до якого загальна кількість транспортних засобів через вхідні лічильники Gate 1, Gate 4, Gate 6, Gate 8 приймалась у якості транспортного навантаження за одну годину.

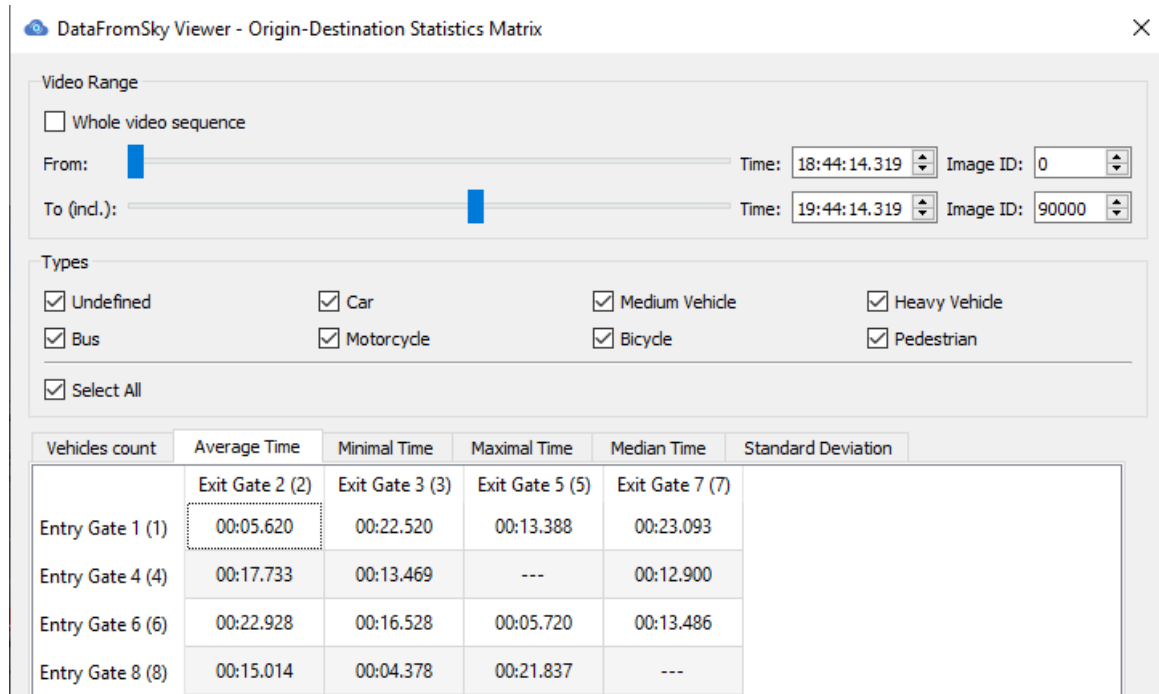


Рис.2.3. OD-матриця за середнім часом руху, с.

Параметрами динаміки руху, що визначались з Datafromsky Viewer виступали:

- величина середнього прискорення/уповільнення для налаштування поведінкової моделі зміни смуги руху у VISSIM;
- розподіл середньої швидкості руху.

За результатами обробки 6143 траєкторій встановлено, що значення середнього повздовжнього уповільнення становить $-0,47 \text{ м/с}^2$, максимального повздовжнього прискорення відповідно $6,11 \text{ м/с}^2$. Дані значення використані у моделі Lane Change Behavior симулятора руху VISSIM.

Для встановлення закону розподілу середньої швидкості руху зі звіту Traffic Analysis на початковому етапі створено частотну гістограму (рис.2.4).

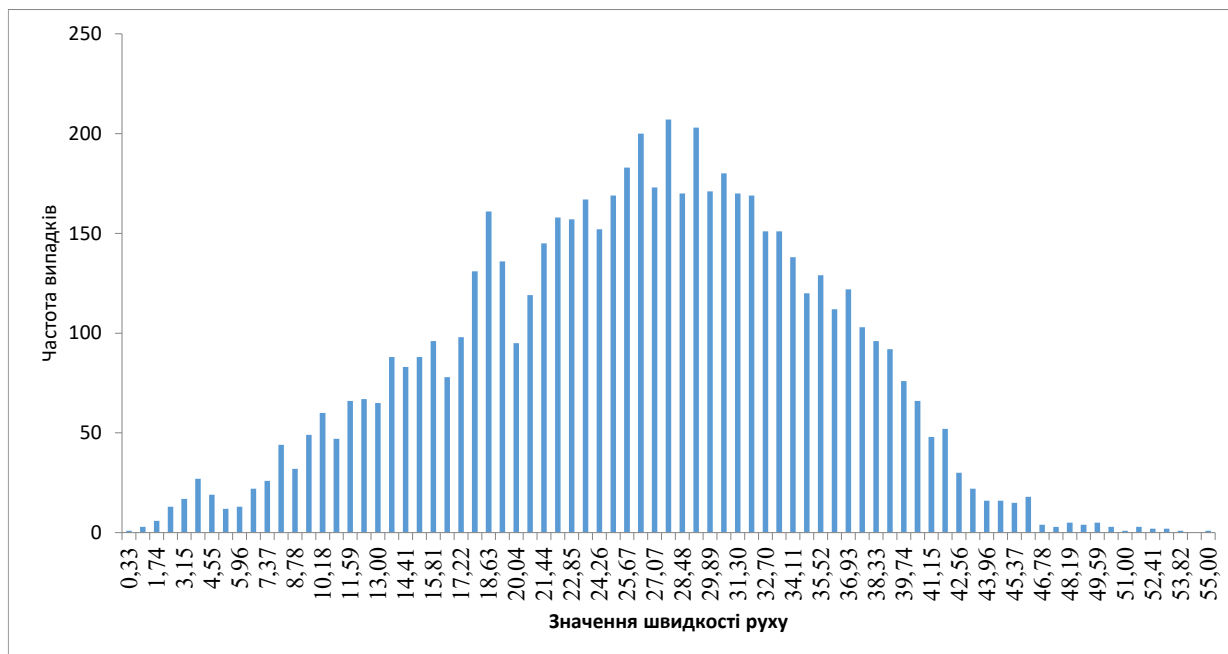


Рис.2.4. Гістограма частот для середньої швидкості руху на основі звіту DataFromSky Viewer

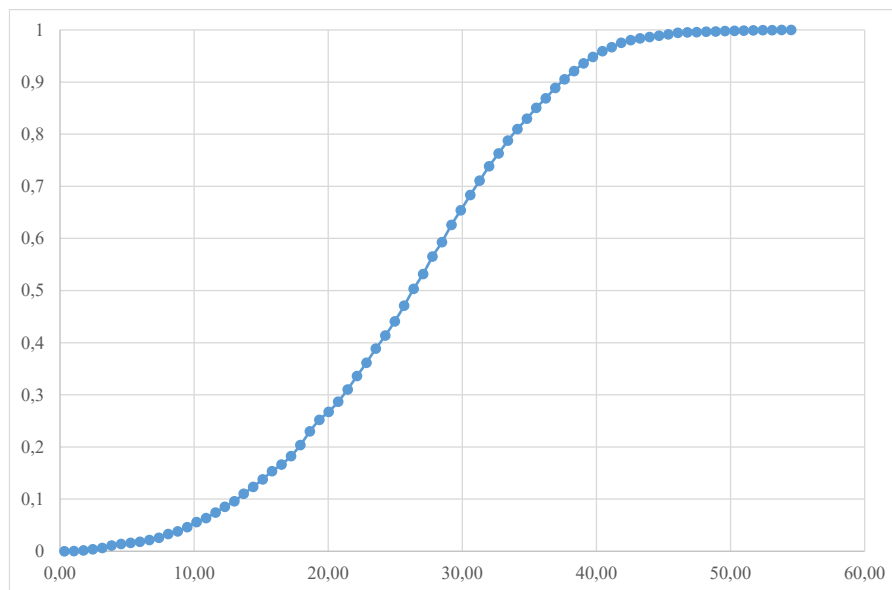


Рис.2.5. Емпірична крива функції нормального розподілу.

Розподіл швидкості руху (інтервальний ряд) близький до нормального. Для перевірки даної гіпотези використано методику, засновану на встановленні

частотних та накопичуваних ваг [3]. У результаті отримано емпіричну функцію розподілу (рис.2.5). Як видно з рис.2.5, отримана крива відповідає функції нормального розподілу.

Скориставшись формулою Гауса [16], знаходимо щільність ймовірності розподілу для досліджуваного показника швидкості руху (рис.2.6).

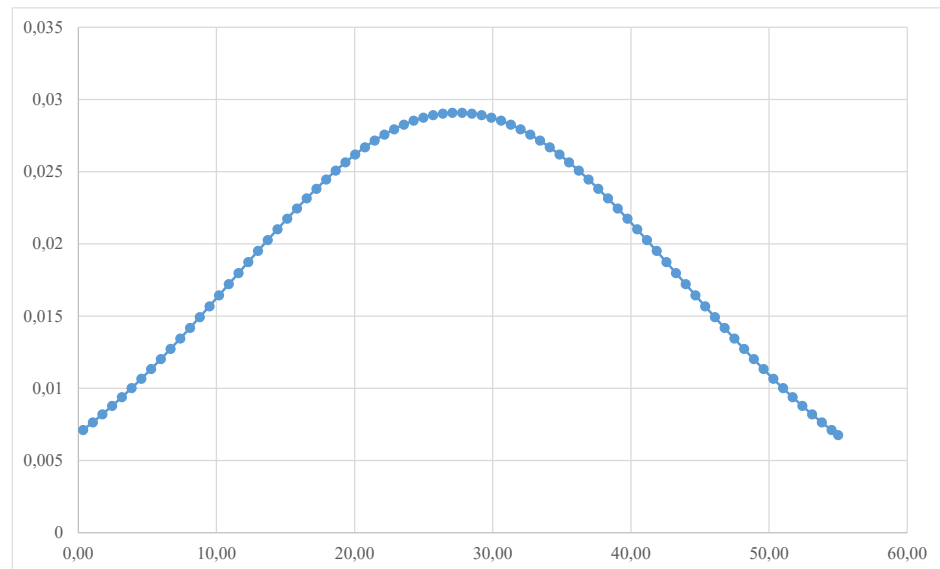


Рис.2.6. Щільність ймовірності розподілу швидкості руху

Для практичних цілей при калібруванні VISSIM-моделі будемо використовувати саме криву функції нормального розподілу.

Зі звіту *Traffic Analysis* також отримані параметри вхідного транспортного потоку для кожного із лічильників за 1 годину відеореєстрації (табл.2.2).

Табл.2.2

Розподіл типів транспортних засобів у вхідних потоках

	Gate 1	Gate 4	Gate 6	Gate 8
Легкові автомобілі, доля	0,88	0,98	0,99	0,89
Вантажні автомобілі, доля	0,01	0,01	0,00	0,02
Автобуси, доля	0,10	0,01	0,01	0,09
Велосипедисти, доля	0,00	0,00	0,00	0,00

1.3. Калібрування VISSIM-моделі ділянки на основі даних відеоаналізу

Модель перехрестя створено у програмі мікромодельовання транспортних потоків PTV VISSIM з урахуванням особливостей 3 структурних блоків програми: інфраструктурних об'єктів (кількість смуг, конфігурація перехрестя, ширина смуги); організація дорожнього руху (конфліктні зони); дорожній рух (вхідні потоки та маршрути транспортних засобів) [8].

Вхідні транспортні потоки для моделі уведено відповідно до загальної кількості підрахованих транспортних засобів, які проходять через вхідний лічильник (рис. 2.7).

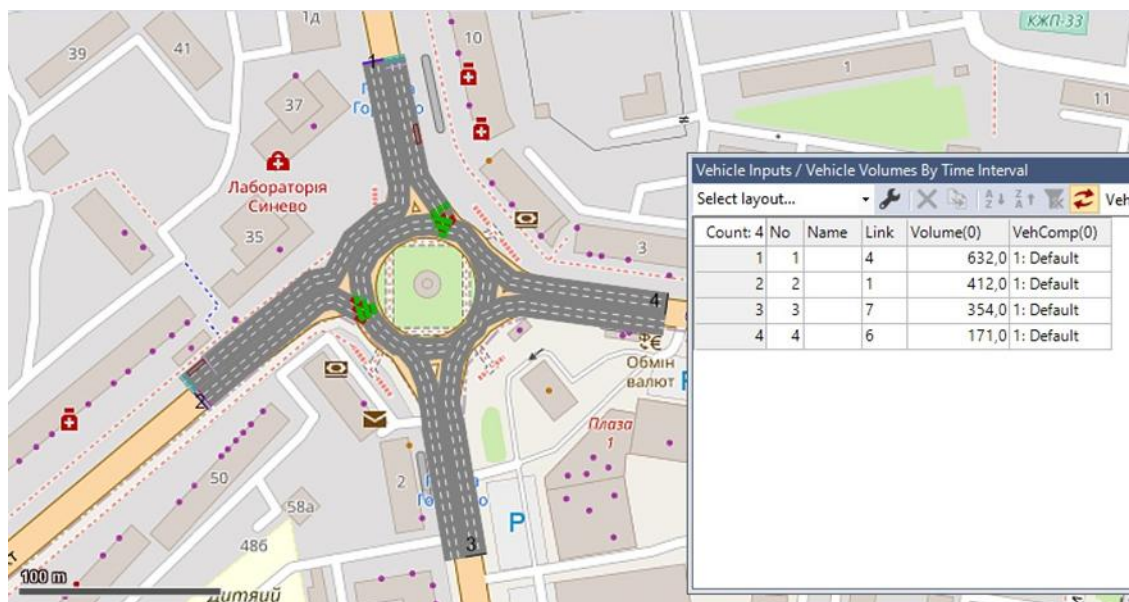


Рис.2.7. Інтенсивність руху транспортних потоків на вході маршрутів (авто/год.).

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

Першим етапом калібрування виступало налаштування швидкості руху потоків.

Слід розрізняти два типу швидкості: бажану та фактичну. При русі завжди існують певні компоненти, які визначають рівень швидкості, яку можна підтримувати. Вони залежатимуть від будови дорожнього полотна та умов місцевості (тобто горизонтальної та вертикальної кривої дороги), рівня агресивності водіння, переривання потоку навколишніми транспортними засобами (тобто заторів, сигналів дорожнього руху, знаків зупинки) тощо. Якщо представити ситуацію відсутності вказаних обмежень, можливо було б подорожувати зі швидкістю, що визначається виключно будовою проїжджої частини та рівнем агресивності водіння. Швидкість, з якою можна подорожувати в такому стані, є «бажаною швидкістю», також відомою як швидкість вільного потоку (*free flow speed*). Насправді, підтримувати «бажану швидкість» неможливо через багато різних типів обмежень, таких як дорожні сигнали та транспортні засоби, що рухаються повільно. У цьому випадку скорегована швидкість називається «фактичною швидкістю» [23].

У PTV VISSIM можна ввести лише «бажану швидкість», тоді як «фактична швидкість» піддається виміру як MOEs після моделювання.

Доступ до списку розподілу бажаної швидкості отримується, перейшовши до «Базові дані> Розподіли> бажана швидкість» (*Base Data > Distributions > Desired Speed*). Потім буде завантажено вікно «Бажані розподіли швидкості» (*Desired Speed Distributions*). У вікні може бути список існуючих бажаних розподілів швидкості, які вже використовуються в програмі за замовчуванням [23].

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

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

– максимальну бажану швидкість.

Номер розподілу – унікальний ідентифікаційний номер, присвоєний кожному розподілу ймовірності. Ідентифікувати кожен розподіл ймовірності події стає легко, якщо використовувати число, яке найкраще пояснює даний розподіл. Наприклад, якщо планується використовувати певний розподіл для певного обмеження швидкості (наприклад, 40 км / год), можна вибрати номер 40.

З мінімальною та максимальною бажаною швидкістю, визначеною користувачем, PTV Vissim дозволяє далі визначати розподіл, використовуючи відповідний графік. Кожна вісь графіка розподілу представляє собою: *вісь x* – бажана точка швидкості, *вісь y* – ймовірність обраної потрібної точки швидкості.

У якості мінімального та максимального значень швидкості використані дані зі звіту Datafromsky Viewer, а у якості графу – емпіричну криву функції нормального розподілу, показану на рис.2.5.

Створений графік розподілу середньої бажаної швидкості для досліджуваної кільцевої розв'язки представлений на рис.2.7.

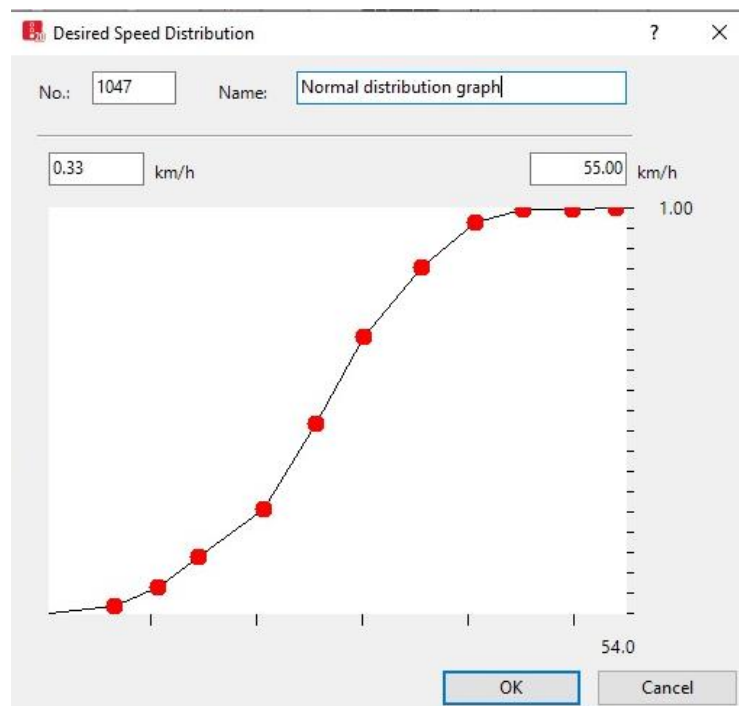
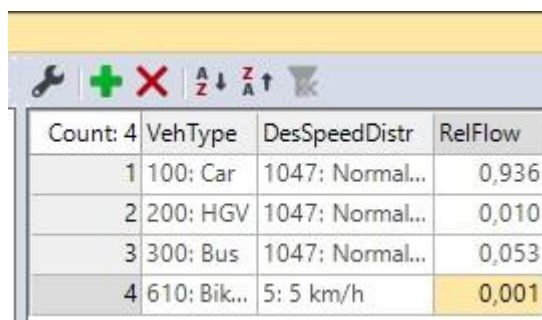


Рис.2.7. Графік розподілу бажаної швидкості руху.

Кожному транспортному засобу присвоюється значення фрактілю при вході в мережу, яке буде використовуватися для призначення відповідного значення швидкості руху з потрібного ймовірнісного розподілу, коли транспортний засіб проходить через відповідні точки або області зменшення швидкості. Це значення залишатиметься незмінним для транспортного засобу протягом усього запуску імітації та зберігається в атрибуті «*Бажаний фрактілю швидкості*» (*Desired Speed Fractile*). Наприклад, якщо значення фрактілю дорівнює 45%, це означає, що транспортний засіб завжди буде призначено 45% значення розподілу бажаної швидкості. Якщо значення становить 100%, транспортний засіб буде завжди мати найбільший рівень розподілу бажаної швидкості.

Окрім швидкостей руху калібруванню підлягав склад транспортного потоку через функцію Vehicle Compositions (рис.2.8) відповідно до Traffic Analysis з DataFromSky Viewer для кожного вхідного лічильника.



Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100; Car	1047; Normal...	0,936
2	200; HGV	1047; Normal...	0,010
3	300; Bus	1047; Normal...	0,053
4	610; Bik...	5; 5 km/h	0,001

Рис.2.8. Калібрування складу транспортного потоку.

У моделі зміни смуги руху також встановлені порогові значення уповільнень (рис.2.9).

Після проведення описаних вище процедур, відкалібрована імітаційна модель перехрестя готова до аналізу MOEs та визначення LOS.

Driving Behavior ? X

Simulation is running. Some changes of network objects are not possible.

No.: 1 Name: Urban (motorized)

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

General behavior: Free lane selection

Necessary lane change (route)

	Own	Trailing vehicle
Maximum deceleration:	-6,10 m/s ²	-6,10 m/s ²
- 1 m/s ² per distance:	100,00 m	100,00 m
Accepted deceleration:	-0,48 m/s ²	-0,48 m/s ²

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

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

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

Safety distance reduction factor: 0,60

Maximum deceleration for cooperative braking: -3,00 m/s²

☐ Cooperative lane change

Maximum speed difference: 10,80 km/h

Maximum collision time: 10,00 s

☐ Rear correction of lateral position

Maximum speed: 3,00 km/h

Active during time period from 1,00 s until 10,00 s after lane change start

Рис.2.9. Калібрування моделі зміни смуги руху

1.4. Визначення MOEs

MOEs для досліджуваного перехрестя виступали:

- середній час у дорозі;
- середня величина черги на перехресті;
- середня затримка, пов'язана із зупинками.

Відповідно до результатів моделювання, середній час у дорозі для визначених маршрутів становив від 15 до 38 с, що відповідає OD-матрицям за часом проходження маршрутів (рис. 2.3). Загальний час у дорозі – 9661 с.

Середня величина черги на перехресті становила 1,70 м, максимальна величина – 17,8 м. Черга можлива у напрямку руху із проспекту Металургів до проспекту Гагаріна (*Gate 4 – Gate 7*).

Середня затримка, пов'язана із перериванням потоку склала 1,27 с (*DelayAvg*). Загальний час зупинки становив 84 с (*DelayStopTot*). Загальна затримка транспортних засобів в мережі становила 654 с. Питома зупинка, яка визначається загальним часом усіх затримок, якій розділений на суму кількостей транспортних засобів у мережі та числа тих транспортних засобів, які досягли точок призначення, становила 0,22 с (*DelayStopAvg*).

Кількість зупинок (без урахування громадського транспорту та паркування) – 63. Питома кількість зупинок (загальна кількість зупинок розділена на суму кількостей транспортних засобів у мережі та числа тих транспортних засобів, які досягли точок призначення) становила 0,19.

Середня швидкість руху (загальна пройдена відстань розділена на загальний час у мережі) на перехресті – 32,7 км/год., що на 16,2% більше середньої швидкості руху за результатами відеоаналізу руху (27,4 км/год.).

Кількість транспортних засобів, що пройшли до точки призначення – 311. Зі вхідних навантажень не враховано 119 транспортних засобів.

Показники затримки представлені на діаграмі (рис.2.10).

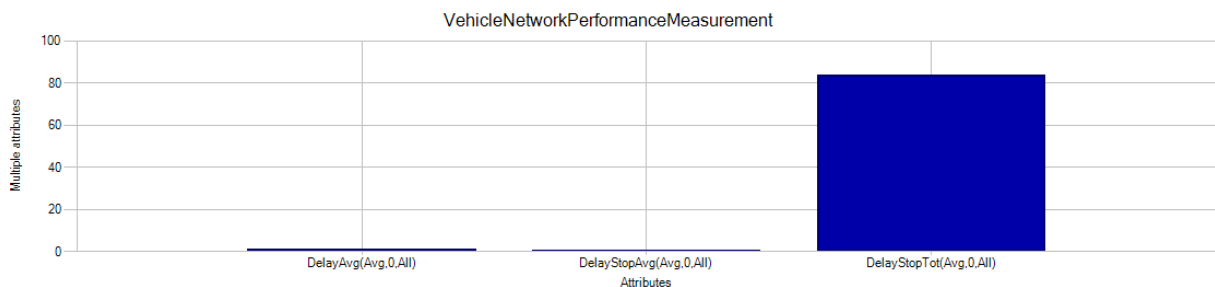


Рис.2.10. Вимірювання МОЕс: час середньої, питокої та загальної зупинки транспортних засобів.

1.5. Оцінка LOS

Наступним етапом аналізу є визначення рівня обслуговування досліджуваного перехрестя. Для аналізу будемо користуватись MOEs з п.1.4 даного розділу, а саме, величини транспортної затримки та середньої швидкості руху. Для визначення LOS в VISSIM скористаємось налаштуваннями атрибутів користувача (*User-Defined Attributes*). Програмний код для розрахунку LOS, порогові значення якого встановлені відповідно до HCM2016 [19], представлено нижче [9]:

IF([TOTRES\VEHDELAY(...ALL)]≤10; “A”; IF([TOTRES\VEHDELAY(...ALL)]≤20; “B”; IF([TOTRES\VEHDELAY(...ALL)]≤35; “C”; IF([TOTRES\VEHDELAY(...ALL)]≤55; “D”; IF([TOTRES\VEHDELAY(...ALL)]≤80; “E”; “F”))))))

Дістанемо показників LOS з урахуванням середньої затримки на перехресті та середньої швидкості руху транспортних засобів. Порівняємо отримані показники з аналогічними, визначеними за HCM-методом [19] та сформуємо звіт у табличному вигляді (табл. 2.3).

Табл.2.3

Показник	HCM-метод	VISSIM-модель	Відхилення, %	LOS-критерій	
				HCM-метод	VISSIM-модель
Середня швидкість, км/год	29,2	32,7	10,7%	B	B
Середня затримка, с	1,83	1,27	30,6%	A	A

Відхилення у показниках затримки на перехресті, встановленої за двома методами становило 30,6%, середньої швидкості руху – 10,7%.

Найгірший рівень обслуговування кільцевої розв'язки виявився за величиною середньої швидкості. Він становив рівень **B** за розрахунками відповідно до HCM2016 [19] та у результаті проведення дослідження за представленою у даній роботі методикою. Це означає, що середня швидкість

становить 70% швидкості у вільних умовах *FFS* даного класу вулиць (45 км/год.), спостерігаються незначні поміхи руху і виконання маневрів.

За величиною транспортної затримки спостерігається LOS, якому присвоєно рівень **A** за обома методами. Це говорить про вільний потік на перехресті, середня швидкість становить 90% швидкості в вільних умовах *FFS* даного класу вулиць. Також присутні вільні умови для виконання маневрів.

1.6. Висновки до розділу 2

У роботі представлено методика дослідження вузлів транспортної мережі, заснована на використанні відеоаналізу дорожнього руху (за 1 року 40 хвилин спостережень), результати якого служать вихідними даними для імітаційних моделей ділянок мережі на прикладі кільцевої розв'язки 95-го кварталу.

Дані підрахунку кількості транспортних засобів на маршрутах руху з програми інтелектуального аналізу даних руху DataFromSky Viewer у вигляді OD-матриць послужили вхідною годинною інтенсивністю для програми імітаційного моделювання VISSIM від PTV. Статистичний звіт з динаміки руху з DataFromSky Viewer послужив основою для калібрування імітаційної моделі розв'язки у програмі VISSIM, де калібрувальними параметрами виступали: величина середнього прискорення/уповільнення для налаштування поведінкової моделі зміни смуги руху у VISSIM; розподіл ймовірності середньої швидкості руху; інформація про склад транспортного потоку.

Виходячи з відкаліброваної моделі, встановлені узагальнені значення показників ефективності руху на перехресті (MOEs) та за допомогою програмного коду налаштування визначених користувачем атрибутів автоматизовано процес визначення рівня обслуговування перехрестя (LOS).

Результати визначення LOS у середовищі VISSIM виявились близькими до результатів ручного підрахунку за методикою HCM2016.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА СКЛАДОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РУХУ

3.1 Метод розрахунку вартості автоматизації визначення LOS TA MOEs

Економічна оцінка використання програмної автоматизації методики визначення LOS TA MOEs полягає у розрахунку витрат на проведення досліджень ділянок транспортної мережі у різних програмних продуктах. З метою первинного аналізу використовується технологія штучного інтелекту DataFromSky, яка передбачає підключення до тарифного плану виробника програмного забезпечення для активації облікового запису із наданням кредитів для обробки відеозаписів дорожнього руху. При імітаційному моделюванні використовується платформа VISSIM, ліцензія на яку постачається розробником у складі відповідного пакету програм від PTV group (академічного або професійного) [8]. До експлуатаційних витрат також відноситься оплата праці спеціаліста з транспортного моделювання.

У такому разі, витрати на автоматизацію визначення LOS TA MOEs будуть складатись з витрат на використання обох програмних продуктів:

$$E = D + V \quad (3.1)$$

D – експлуатаційні витрати відеоаналіз руху від DataFromSky; V – експлуатаційні витрати на автоматизацію визначення LOS TA MOEs у середовищі VISSIM.

Перша складова визначатиметься:

$$D = T_{ij} \cdot N_{ij} \cdot p_{ij} + K \cdot p_k \quad (3.2)$$

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.

Вартість розробки імітаційної моделі:

$$V = A \cdot T_{ij} \cdot N_{ij} \cdot p_{ij} \quad (3.3)$$

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:

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

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

3.2. Приклад розрахунку для досліджуваного перехрестя

Визначення витрат на автоматизацію визначення показників ефективності руху за допомогою програмного забезпечення DataFromSky та VISSIM проводилось на прикладі відеозапису руху на досліджуваному перехресті кільця 95-го кварталу.

На геореєстрацію, маркування робочого простору відеофрагменту в DataFromSky та експорт результатів аналізу руху було витрачено 60 хв. (1 год.). Середня погодинна ставка експерта з транспортного моделювання становить 8 євро (239,2 грн.) [18]. Для обробки відеозапису було витрачено 8,67 кредитів

(співвідношення між кредитами та годинами відео для даного режиму становить 1:5). Вартість одного кредиту для «Areal» режиму, який дозволяє обробити 1 годину відео з безпілотного літального апарату, становить 14,5 євро (433 грн.) [10].

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

$$D = 1,0 \cdot 1 \cdot 239,2 + 1,734 \cdot 433 = 988 \text{ грн.}$$

На виконання робіт з розробки імітаційної моделі перехрестя в VISSIM витрачено 90 хв. (1,5 години), середня погодинна ставка експерта з транспортного моделювання становить 8 євро (239,2 грн.) **[Помилка! Джерело п осилання не знайдено.]**. Вартість академічної ліцензії VISSIM на 3 роки на 100 машин становить 5000 євро [8]. Враховуючи поточний курс євро, питома вартість використання академічного пакету VISSIM становить, грн./доба:

$$A = 5000 \cdot 29,29 \cdot /3 \cdot 100 \cdot 365 = 1,33.$$

Виходячи з цього,

$$V = 1,33 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 239,2 = 477 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна вартість робіт з використання програмного забезпечення автоматизації оцінки ефективності руху DataFromSky та VISSIM для досліджуваного перехрестя становить 1465 грн.

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗБОРУ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ

Для підготовки повного набору коректних вихідних даних, необхідних для побудови моделі, проводиться збір вихідних даних у польових умовах [19].

Відомо, що перед збором вихідних даних вважається за необхідне визначення меж окремого проекту. Границя площі проекту залежить від «зони впливу» навколишньої транспортної мережі. Зона впливу – це область дослідження, а також навколишня транспортна мережа, що впливає на операції в зоні дослідження (включаючи розгляд майбутніх умов розвитку мережі), може варіюватися від одного перехрестя до ділянки мережі, що охоплює окремий міський район. Даний підхід дозволяє реалізувати реальну поведінку транспортного та пішохідного руху в проектній області. Зона впливу може бути більшою, ніж мінімальні межі області дослідження. Важливо розуміти експлуатаційні характеристики об'єктів транспортної інфраструктури в рамках запропонованого проекту.

Якість і точність вихідних даних відіграє вирішальну роль в достовірності результатів моделювання. Розглянемо типи вхідних даних для даного етапу:

- необхідні типи вихідних даних;
- вибрані технології проведення замірів;
- розташування місць проведення замірів;
- часовий проміжок вимірів.

На виході повинен бути отриманий повний набір необхідних вихідних даних, зібраних з дотриманням всіх вимог до встановленої точності.

Аналіз методичної літератури з транспортного моделювання показав [21], що інтервал спостережень повинен відповідати таким чотирьом критеріям:

- за величиною бути мінімум 15 хвилин;

– кількість транспортних засобів на найбільш перевантажених ділянках мережі, темпи зростання трафіку можуть уповільнюватись, однак число транспортних засобів, рух яких моделюються за допомогою програми, за цей же проміжок часу, повинно продовжувати збільшуватись;

– оцінювальний час у дорозі транспортних засобів з одного кінця мережі у інший повинен бути рівним або удвічі більшим за модельний час;

– довжина черги транспортних засобів у моделі повинна повторювати реальні спостереження в цей час дня.

Крім того, рекомендується, щоб інтервал проведення обстежень для мікроімітаційного дослідження покривав період від виникнення заторів до їх розсіювання.

Дані про трафік та польові спостереження рекомендовано використовувати для визначення відповідного пікового періоду транспортного навантаження у досліджуваній зоні. Найчастіше погодинний трафік коригується вгору, (на нього впливає наявність пікових годин), для того, щоб відтворити 15-хвилинний період, за який трафік досягає максимального значення.

Необхідно переконатися в тому, що умови руху в дні проведення обстежень однакові і відсутній вплив таких чинників як: погодні умови; ремонтні роботи; дорожньо-транспортні пригоди; масові заходи.

Також слід зауважити, що для мінімізації розкиду в одержуваних значеннях слід проводити обстеження в найбільш репрезентативні періоди, уникаючи святкових днів, днів шкільних канікул, періоду відпусток та інших нетипових періодів. До таких репрезентативних періодів відносяться будні дні з понеділка по четвер у наступні місяці: березень і квітень, виключаючи Великодній тиждень; друга половина травня; весь червень; друга половина вересня; весь жовтень і листопад.

ВИСНОВКИ

У роботі представлена методика комплексної автоматизації оцінки ефективності дорожнього руху на ділянках транспортних мереж – від збору вихідних даних до визначення рівня обслуговування ділянки. Для цього використано поєднання програми інтелектуального відеоаналізу руху та імітаційного мікромодельювання.

1. Оцінка показників ефективності руху на перехресті складається з таких основних етапів:

- відеоаналіз дорожнього руху у програмному середовищі DataFromSky;
- статистичний аналіз динаміки руху та OD-матриць, отриманих в DataFromSky Viewer;
- створення VISSIM-моделі перехрестя за вихідними даними відеоаналізу;
- калібрування VISSIM-моделі перехрестя за законом розподілу бажаної швидкості руху, складом транспортного потоку, величиною середнього прискорення/уповільнення;
- порівняння OD-матриць з показниками часу у дорозі за результатами моделювання в VISSIM;
- визначення MOEs (середня затримка, середня швидкість руху, довжина черги, середній час у дорозі);
- розрахунок LOS за отриманими показниками ефективності та за допомогою HCM.

2. Проведено дослідження кільцевої розв'язки (95-й квартал) у місті Кривий Ріг за представленою методикою.

3. Встановлено, що відхилення у показниках затримки на перехресті, встановленої за представленою методикою та розрахунково за допомогою керівництва HCM становило 30,6%, середньої швидкості руху – 10,7%.

За величиною транспортної затримки спостерігається LOS, якому присвоєно рівень **A** за обома методами. Це говорить про вільний потік на перехресті, середня швидкість становить 90% швидкості в вільних умовах *FFS* даного класу вулиць. Також присутні вільні умови для виконання маневрів.

За величиною середньої швидкості $LOS=B$ відповідно до двох методик. Це означає, що середня швидкість становить 70% швидкості у вільних умовах *FFS* даного класу вулиць (45 км/год.), спостерігаються незначні поміхи руху і виконання маневрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз виникнення заторів на нерегульованому перехресті у місті Кривий Ріг / В. О. Сістук, А. О. Богачевський, К. О. Анікіна // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т – Харьков : ХНАДУ, 2016. – Вып. 72. – С. 49–52.
2. Комплексний підхід щодо підвищення соціально-економічної безпеки транспортної системи Саксаганського району міста Кривого Рогу // В. О. Сістук, А. О. Богачевський, О. В. Троян, К. О. Анікіна // Проблеми економіки транспорту: Тези доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції. – Д.: ДНУЗТ, 2016 р. – С. 68 – 70.
3. Литвин В. В. Имитационное моделирование транспортных потоков с помощью программного обеспечения PTV VISION VISSIM / В. В. Литвин, А. Н. Мирошниченко // Сборник научных трудов международной конференции «Современные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014» – Днепропетровск, 2014 – с.251 – 260.
4. Пальчик А.М. Організація дорожнього руху: навч. посіб. /. – К.: НТУ, 2011. – 228 с.
5. Підвищення пішохідної безпеки на перехресті з обмеженою видимістю на основі імітаційного аналізу транспортних потоків / В. О. Сістук, А. О. Богачевський, В. Ю. Сергієнко, К. О. Анікіна // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2016. – Вип. 28. – С. 215 –223.
6. Потійчук О.Б. Транспортні розв'язки. навч. посібник./ О.Б. Потійчук, Л.М.Піліпака, – Рівне: НУВГП, 2013 – 274 с.
7. Правила дорожнього руху України – [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://pdd.ua/ua>. – Загл. с экрана.

8. PTV Vision – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim>. – Загл. с экрана
9. Sistuk Volodymyr, Monastyrskyi Yurii Comparative study of VISSIM and HCM technique LOS determination as exemplified by T-shape and partial cloverleaf interchanges/ ICCPT: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine.pp. 11–22.
10. Електронний ресурс: <https://datafromsky.com/>
11. Adriana Simona, Mihăiță Laurent Dupont, Mauricio Camargo. Multi-objective traffic signal optimization using 3D mesoscopic simulation and evolutionary algorithms. Simulation Modelling Practice and Theory. Volume 86, August 2018, Pages 120-138.
12. Aleksandar Stevanovic, Jelka Stevanovic, Jaehyun So, Marija Ostojic. Multi-criteria optimization of traffic signals: Mobility, safety, and environment. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Volume 55, June 2015, Pages 46-68.
13. Binayak Bhattarai, Anil Marsani. Time Based Traffic Signal Coordination (A Case Study of Gatthaghar and Naya Thimi Intersections), (2015). Proceedings of IOE Graduate Conference, 2015 pp. 48–54.
14. Chen Tianzi, Jin Shaochen, Yang Hongxu. Comparative Study of VISSIM and SIDRA on Signalized Intersection. Procedia - Social and Behavioral Sciences Volume 96, 6 November 2013, Pages 2004-2010.
15. Daniel (Jian) Sun, Lihui Zhang, Fangxi Chen. Comparative study on simulation performances of CORSIM and VISSIM for urban street network, (2013). Simulation Modelling Practice and Theory. Volume 37, September 2013, Pages 18-29.
16. Dong Lin, Xiaokuan Yang, Chao Gao. VISSIM-based Simulation Analysis on Road Network of CBD in Beijing, China. Procedia - Social and Behavioral Sciences Volume 96, 6 November 2013, Pages 461-472.

17. Fornalchyk Ye. The influence of dynamic characteristics of vehicles on the passenger car equivalent and traffic delay / Ye. Fornalchyk, I. Mohyla, V. Hilevych // An International Quarterly Journal «ECONTECHMOD». – 2015. Vol. 4. – No. 2. – P. 45-50.
18. Highway Capacity Manual, (2016). – 1207 pp.
19. Jie, L., Zuylen, H. J., Shoufeng L. Calibration of a Traffic Simulation for a Chinese city, Proceedings of 2 nd 412 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, Leuven, Belgium, 413 2011.
20. Khaled Shaaban, Inhi Kim. Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts. Procedia Computer Science Volume 52, 2015, Pages 43-50.
21. MD. Hadiuzzaman (2008) “Saturation flow and delay model for signalized intersection in Dhaka city” Bangladesh University of engineering, vol (1) Luke Best (2011) “project echo VISSIM modelling and validation “LMVR report UK volume. Minnesota Department of Transportation. Traffic Signal Timing and Coordination Manual, 2013.
22. Электронный ресурс: <https://ptvtraffic.us/resources/speed-definition/>