

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему Обґрунтування заходів з підвищення безпеки пішохідного руху по вулиці Лермонтова (зупинка «Центральний ринок») у місті Кривий Ріг

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТТ-17 _____ О.В. Крукович
(шифр групи) (підпис) (прізвище та ініціали)

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

Завідувач кафедри:

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

Кривий Ріг – 2021р.

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

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 – «Транспорт»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автомобільного транспорту

_____/_____
_____”_____ 2021 р. _____./

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

КРУКОВИЧА ОЛЕКСАНДРА ВІТАЛІЙОВИЧА

1. Тема *Обґрунтування заходів з підвищення безпеки пішохідного руху по вулиці Лермонтова (зупинка «Центральний ринок») у місті Кривий Ріг*
керівник проекту Сістук В.О., к.т.н., доцент
затверджені наказом університету від 21.04.2021 року № 323с.
2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат 10.06.2021
3. Вихідні дані до роботи: Навчально-методичне забезпечення з програм відеоаналізу руху DataFromSky та мікроімітаційного моделювання транспортних потоків PTV VISSIM.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд методології дослідження пішохідного руху за допомогою Datafromsky/Viswalk. 2. Повітряна відеозймка пішохідного та транспортного руху. 3. Розрахунково-дослідницька частина роботи. 4. Оцінка ефективності альтернативних рішень.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
Графіки та діаграми по результатам досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруківки презентації для членів ДЕКу.
6. Дата видачі завдання 21.04.2021.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Огляд методології дослідження пішохідного руху за допомогою Datafromsky/Viswalk	21.04 -30.04	
2	Повітряна відеозймка пішохідного та транспортного руху	01.05	
3	Розрахунково-дослідницька частина роботи	01.05 – 14.05	
4	Оцінка ефективності альтернативних рішень	14.05 – 22.05	
5	Оформлення пояснювальної записки і презентації	22.05-31.05	

Студент

(підпис)

О.В. Крукович

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Сістук

РЕФЕРАТ

У роботі виконано оцінку та розроблено рішення щодо удосконалення організації пішохідного руху по вулиці Лермонтова (зупинка «Центральний ринок») у місті Кривий Ріг на основі вивчення поведінки пішоходів на дублюючому підземний перехід регульованому світлофором пішохідному переході.

Проведено аналіз сучасних математичних поведінкових моделей пішоходів. Визначено, що сучасним підходом до мікроскопічного моделювання пішохідних потоків є використання моделі соціальних сил, яка складається з великої кількості сил, які представляють різні фактори впливу. Проведено польові обстеження ділянки вулично-дорожньої мережі у місті Кривий Ріг по вулиці Лермонтова від зупинки «Центральний ринок» до перехрестя з вулицею Старовокзальна у вигляді двох повітряних відеозйомок руху за допомогою БПЛА у пікові години доби вихідного дня. За результатами інтелектуального відеоаналізу руху на двох ділянках встановлено, що інтенсивність пішохідного руху в обох напрямках (убік та від Центрального ринку) порівняна та знаходиться на рівні 870 – 900 осіб/годину, а за період польових обстежень підземним переходом скористувалось 316 осіб, що складає 15% від загальної кількості пішоходів. Встановлено, що розрахункова циклограма пішохідного руху не задовольняє умовам руху на ділянці.

Рекомендовано залишити наземний пішохідний перехід у якості основного для регулювання руху біля зупинки «Центральний ринок», а підземний перехід у якості альтернативи для переходу магістральної вулиці, у тому числі під час забороняючого сигналу світлофору; залишити цикл регулювання пішохідного регулювання руху рівним 118 с для синхронізації зі світлофорами на перехресті вулиць Лермонтова та Старовокзальної; збільшити тривалість зеленого сигналу та відповідно зменшити тривалість забороняючого сигналу пішохідного світлофору на 10%.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІШОХІДНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ DATAFROMSKY/VISWALK	10
1.1. Візуальні спостереження за поведінкою пішоходів.....	10
1.2. Модель клітинного автомату	11
1.4. Логістична регресія.....	13
1.5. Мультиагентна модель	14
1.6. Модель електромагнітної сили.....	15
1.7. Модель соціальних сил.....	16
1.8. Метод дослідження.....	18
1.9. Характеристики пішохідного руху в програмі комп'ютерного мікромоделювання за допомогою VISWALK.....	19
1.10. Особливості розробки імітаційної моделі у VISWALK	20
1.12. Поведінка пішоходів.....	25
1.13. Вибір маршруту руху.....	27
1.14. Оціночні характеристики пішохідного руху.....	28
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	29
2.1. Характеристика ділянки дослідження	29
3.2. Проведення повітряної відеозйомки пішохідного та транспортного руху	32
3.3. Інтелектуальний відеоаналіз пішохідного та транспортного руху на ділянці наземного пішохідного переходу.....	33
3.4. Інтелектуальний відеоаналіз транспортного руху на перехресті вулиць Лермонтова та Старовокзальної	36

3.5. Розрахунок світлофорної сигналізації для регульованого пішохідного переходу	39
3.6. Особливості розробки базової імітаційної моделі.....	43
3.7. Особливості розробки моделі альтернативи	45
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РІШЕННЯ.....	46
4.1. Аналіз показників ефективності на основі базової імітаційної моделі.	46
4.2. Аналіз показників ефективності альтернативи.....	49
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

ВСТУП

Актуальність теми. Світова містобудівна теорія і практика в області проектування і організації пішохідних просторів показує, що правильне рішення цього важливого питання може бути здійснено на науковій основі з урахуванням містобудівних особливостей міста і його центру. Йдеться про створення безперервної інтегрованої багатофункціональної пішохідної системи, що є частиною єдиної комунікаційної системи міста.

Пішохідна система може містити два основних пов'язаних між собою елементи: «кістяк» пішохідної системи (пішохідна вулиця, площа) і її другорядні складові частини (вулиці, пасажі). Визначальним при виконанні тієї чи іншої функції цих пішохідних просторів є їх місце в структурі міського центру. Основне призначення «кістяка» пішохідної системи полягає в зосередженні і об'єднанні головного пішохідного руху в центрі міста і одночасно його розподіл і класифікація відповідно до функціональної приналежності. Транспортна система повинна забезпечити поступове зменшення і затухання руху від периферії до центру міста, пішохідна – навпаки. Призначення другорядних пішохідних просторів повинно полягати в їх збиральній і спрямовуючій ролі, яка означає поступову інтенсифікацію пішохідного руху від периферії до центру міста.

Водночас, ситуація виглядає інше, коли через центр міста проходить магістральна вулиця, на яку приходить значна частина транспортного навантаження. Тоді для розведення пішохідних та транспортних потоків у просторі часто використовуються підземні пішохідні переходи. Питання безпеки та зручності пішохідного простору у такому разі виглядає дискусійним, враховуючи переваги та недоліки підземних пішохідних переходів. У той же час, коли існує альтернатива у вигляді наземного переходу із світлофорним регулюванням пішохідного руху і великою забороняючою фазою, питання щодо необхідності подальшого існування альтернатив, утримання підземного пішохідного переходу або його перетворення на об'єкт

соціальної інфраструктури, або налаштування циклу світлофорної сигналізації потребує вивчення з точки зору вибору пішоходом маршруту руху.

Краще розуміння процесів прийняття рішення окремих пішоходів під час взаємодії з іншими учасниками дорожнього руху та об'єктами міської транспортної інфраструктури допомогло б поліпшити мікроскопічне моделювання руху пішоходів і, таким чином, дозволило б більш точно прогнозувати їх поведінку в різних ситуаціях. Це, у свою чергу, допомогло б оцінити ефективність заходів щодо регулювання руху пішоходів, таких як руху пішоходів на регульованому світлофором переході.

Мета і задачі дослідження. Оцінка та прийняття рішення щодо удосконалення організації пішохідного руху по вулиці Лермонтова (зупинка «Центральний ринок») у місті Кривий Ріг на основі вивчення поведінки пішоходів на дублюючому підземний перехід регульованому світлофором пішохідному переході.

Задачі дослідження:

- провести аналіз сучасних математичних поведінкових моделей пішоходів;
- розробити методику та провести польові обстеження двонаправленого пішохідного руху по вулиці Лермонтова (зупинка «Центральний ринок») у місті Кривий Ріг;
- розробити мікроскопічну модель базової та альтернативної ситуацій;
- розробити рекомендації щодо удосконалення системи пішохідного руху на досліджуваній ділянці.

Об'єкт дослідження – рух пішоходів на наземному переході за наявності альтернатив.

Предмет дослідження – показники пішохідного руху, отримані з програм інтелектуального відео аналізу даних дорожнього руху.

Методи дослідження. Аналіз, синтез, узагальнення, системний підхід, штучний інтелект, повітряна відеозйомка, візуальні обстеження інтенсивності

пішохідного руху, мікроімітаційне моделювання, комп'ютерний зір, математична статистика, детерміністичний підхід.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено рекомендації щодо удосконалення пішохідного руху по вулиці Лермонтова (зупинка «Центральний ринок») у місті Кривий Ріг.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи – 53 с, 23 рисунка та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІШОХІДНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ DATAFROMSKY/VISWALK

1.1. Візуальні спостереження за поведінкою пішоходів

Візуальне спостереження є практичним, прямим та надійним підходом, за допомогою якого можна вивчати рух пішоходів особливо на регульованих світлофором розв'язках, які є найпоширенішим типом транспортних вузлів мережі у густонаселених містах. Для оцінки макроскопічних характеристик пішохідних потоків, Кноблаух та ін. [7] проводив польові дослідження швидкості ходьби та часу початку руху на перехрестях, регульованих світлофором в чотирьох міських районах США. Лам та ін. [8] провів обстеження пішохідних потоків у двох напрямках руху на регульованих світлофором перехрестях у Гонконзі, дослідивши зв'язок між швидкістю та величиною потоку за різних дорожніх умов.

Сі та співавтори [9] обстежували пішохідний потік на жвавому переході в центральній частині Гонконгу й дійшли припущення, що на швидкість переміщення для двонаправлених пішохідних потоків також впливає кут перетину між двома потоками. Сі і Вонг [10] у подальшому розширили свої дослідження на чотиринаправлені пішохідні потоки на іншому пішохідному переході в Гонконзі та у результаті запропонували математичну модель для відображення різноспрямованого руху пішохідних потоків. Петріч та іншими авторами [11] зібрано польові дані у США, на основі яких розроблено модель рівня обслуговування, засновану на ряді підходів до сприйняття пішоходами зовнішніх умов та врахуванні геометричних характеристик розв'язки. Ян та ін. [12] провели оцінку затримки пішоходів на перехрестях, що регулюються світлофором, на основі польового дослідження в Сіані. Хоча оцінка безпеки пішохідного руху, як правило, ґрунтується на ретроспективних даних, для спостереження залишаються вкрай важливими для визначення впливу зовнішніх факторів, для оцінки ефекту на

пішоходів відволікаючих електронних пристроїв при перетині перехрестя [15]. Тому доцільно було б розробити мікроскопічну модель руху пішоходів на основі даних спостережних обстежень.

1.2. Модель клітинного автомату

В останні десятиліття були запропоновані типові моделі для моделювання поведінки пішоходів на мікроскопічному рівні. Модель клітинного автомату (КА) та модель решітки були введені з моделі транспортних потоків. Блю і Адлер прийняли модель КА для імітації односпрямованих [16], двонаправлених [17] та чотирьохспрямованих напрямків [18] пішохідних потоків на основі набору правил поведінки, що визначають заповнюваність кварталів.

Кожна клітина сітки може бути зайнята одним єдиним пішоходом. Рух змодельовано як зміна клітин, де кілька правил застосовані до автоматів (пішоходам). Ці набори правил відрізняються в різних реалізаціях моделі. Рух вперед вказує на бажання пішохода досягти певної мети і зводиться до визначення швидкості і прискорення кожного пішохода. Вирішення конфліктів означає бажання уникнути фізичного контакту.

Набір правил, запропонованих Блю і Адлером, складається з шести правил, які застосовуються на чотирьох різних етапах. Перший етап застосовує правила зміни маршруту. На другому етапі всім пішоходам призначається нова клітина. На третьому етапі правила просування застосовуються для кожного пішохода. На останньому етапі пішоходи стрибкоподібно переміщуються в нові клітини.

Зміна маршруту в цій моделі регулюється п'ятьма правилами. Зміна можливо, тільки якщо суміжна клітина доступна і не зайнята пішоходом.

Оскільки моделі КА дозволяють апроксимувати рух пішоходів встановлюючи правила поведінки, дослідники використовували цей підхід для проведення мікроімітаційних експериментів, що вивчали експлуатаційні умови та характеристики різноманітних об'єктів транспортної

інфраструктури. Наприклад, Ю та ін. [19] розробив КА-моделі двонаправленого пішохідного потоку з різними коефіцієнтами спрямованого розщеплення, враховуючи звички пішоходів. Фанг та ін. [16] та Ян та ін. [12] досліджували, чи пішоходи в різних країнах воліли рухатися ліворуч або праворуч у випадках зустрічного руху. Лі та Лам [14] використовували дані спостережних опитувань для виведення правил поведінки пішоходів та калібрування та перевірки імітаційної моделі двонаправленого руху пішохода на регульованих світлофором пішохідних переходах, використовуючи залежності швидкості-потoku, отримані в попередньому дослідженні [7]. Абдельгані та ін. [7] розробили мікроімітаційну модель багатонаправлених пішохідних рухів у натовпі та модель для оцінки роботи різних умов руху в молитовному залі в місті Мекка, Саудівська Аравія.

1.3. Модель решітчастого газу

У пішохідній динаміці є деякі очевидні спільні риси з рідинами. Наприклад, рух навколо перешкод дуже схожий на «обтікання» рідиною перешкоди. Тому не дивно, що, як і для транспортного руху, у моделях пішохідної динаміки за основу взяті положення гідродинаміки або газокінетичної теорії. Зазвичай ці макроскопічні моделі детерміновані, засновані на взаємодії сил і є моделями низької точності.

Хендерсон, спробував провести аналогію між великими скупченнями людей і класичним газом [12]. В результаті відстеження руху в різних натовпах за умови низької щільності («газоподібних») він знайшов відповідність функцій розподілу швидкості з розподілом Максвелла-Больцмана.

Надихнувшись цим спостереженням, він пізніше розробив рідинно-динамічну теорію пішохідного потоку. При описі взаємодій між пішоходами як низки зіткнень, в яких частинки обмінюються імпульсами і енергією, гомогенний натовп, може бути описаний кінетичної теорії газів (рівняння Нав'є-Стоксу). Однак, інтерпретація кількостей не є повністю чіткою.

Наприклад, аналоги тиску і температури знаходяться в контексті пішохідного руху. Температура може бути співвіднесена зі швидкісним відмінністю, яке пов'язаною із розподілом бажаних швидкостей, тоді як тиск описує вимогу переміститися проти сили у певному напрямку.

У газокінетичній моделі є проблеми при низькій щільності пішохідного потоку, що є загальною проблемою для всіх макроскопічних моделей.

Модель решітки є аналогією газу або рідини для описання пішохідної течії. Мурамацу та ін. [13] прийнято модель ґратчастого газу для опису руху пішоходів у двовимірній системі. Хелбінг та ін [12] прийняли модель ґратчастого газу для імітації руху пішоходів під час евакуації з приміщень. Окрім аналогії до газу та рідини, Хелбінг та Молар [13] запропонували модель соціальних сил (детально розглянуто далі у роботі) для представлення кількох факторів, які впливають на прийняття рішень пішоходами. Більше того, Хогендурн та Бові [6] вважали, що пішохід передбачає поведінку інших пішоходів на основі власних спостережень за оточуючими пішоходами, і, отже, можна припустити, що пішохідний рух представляється у якості гри, коли пішохід усвідомлює «стратегії» вибору маршруту інших учасників пішохідного руху. Хогендурн та Даамен [12] додатково внесли зміни до моделі за допомогою поняття анізотропії та кінцевого часу реакції як важливих аспектів поведінки при русі пішохода та встановили підхід до калібрування експериментальних даних про траєкторію руху пішоходів. Кью [14] включив евристичну функцію в модель соціальних сил, та запропонував ефективний алгоритм для пошуку наближеного оптимального пішохідного напрямку.

1.4. Логістична регресія

У той час як моделі КА, моделі решітчастого газу та моделі соціальних сил представляють рух пішоходів на основі певних правил та дають можливість прогнозувати їх поведінку за детермінованим підходом, модель

дискретного вибору є загальноприйнятою для моделювання вибору пішохідних маршрутів імовірнісним способом. Антоніні та ін. [15] та Робін та ін. [17] запропонували модель для опису короточасних індивідуальних відповідей щодо вибору маршруту у присутності інших пішоходів. Була сформульована перехресно вкладена логістична регресія, у якій автори врахували вибір напрямку руху та відповідне рішення про зміну швидкості руху. Потім був введений компонент помилки, щоб змінити структуру помилок моделі, а отже, була сформульована змішана логістична регресія. За даним підходом розглянуто 33 різні альтернативи, які дають статистично значимі калібрувальні результати та гістограму вибору при перевірці. Однак автори розділили територію обстеження навколо пішохода на 33 смуги, що не дозволило передбачити, яке саме конкретне положення буде обране на конкретному етапі вибору.

Замість того, щоб враховувати напрямок і швидкість руху на різних рівнях логістичної регресії, Гує [13] розробив мікроскопічну імітаційну модель руху пішохода, яка оновила положення пішоходів на дискретних часових кроках. Для поєднання вибору напрямку було запропоновано модель багаточленного логіта (MNL) і часовий крок. Як однокроковий підхід передбачалось, що всі пішоходи поводитись однаково з однаковою перевагою у виборі напрямку для уникнення можливих зіткнень.

У роботі [8] представлено дворівневий підхід для мікроскопічного моделювання процесу прийняття пішохідних рішень щодо вибору маршруту на пішохідних переходах, регульованих світлофором. Для першого рівня була запропонована модель дискретного вибору для оцінки вибору напрямку руху, на другому рівні відстежувалась зміна дистанцій між пішоходами.

1.5. Мультиагентна модель

Окрім раніше згаданих досліджень щодо ітераційних моделей поведінки пішоходів, модель дискретного вибору була прийнята для імітації

вибору місця призначення пішохода на рівні зв'язку. Дейкстра та ін. [34] запропонував мультиагентний підхід для використання принципів поведінки для моделювання активності пішохода у торговельних комплексах. Боргерс та ін. [15] використовував цей підхід для моделювання руху пішоходів на ділянках вулиць. Вибір місця призначення включає магазини та інші кінцеві точки тяжіння, а незалежні змінні включають тип «магазин», «відстань» і «тенденція відвідувати магазин». Враховуючи, що пішохід може обрати не всі атрибути, Чжу та Тіммерманс [12] пропонували принципи обмеженої раціональності; коли пішоходи можуть мати неоднорідні стилі та правила прийняття рішень, так що вони можуть приймати рішення лише на основі підмножини атрибутів.

1.6. Модель електромагнітної сили

Була розроблена професором С. Оказаки спільно з С. Матсусіта в кінці 1970-х років [11]. Є мікроскопічною безперервної моделлю. Відповідно до цієї моделі, кожен пішохід і перешкода несуть позитивний заряд. Негативний заряд сконцентрований в тому місці, куди прагнуть пішоходи. Пішоходи рухаються до мети і уникають зіткнень. На кожного пішохода впливають дві сили. Перша – електромагнітна сила, яка залежить від величини «електричного заряду» пішохода і відстані між пішоходами, та від мети його руху.

Друга сила діє на пішоходів з метою запобігання зіткнень з іншими пішоходами або перешкодами за допомогою використання поняття прискорення.

Перевагами моделі є простота програмної реалізації та висока швидкість роботи моделі.

Недоліками моделі є: неможливість індивідуалізації пішохода (визначення росту, ваги); неможливість обліку таких явищ як паніка, хамство, надзвичайні ситуації (коли поведінка людини стає непередбачуваною);

неможливість задати іншу лінію поведінки пішохода, крім як прагнення досягти мети і уникнути зіткнень з іншими пішоходами або перешкодами.

1.7. Модель соціальних сил

На перший погляд поведінка людини є «хаотичною» або, принаймні, дуже нерегулярною і непередбачуваною. Це, мабуть, справедливо для поведінки, яка зустрічається в складних ситуаціях. Однак принаймні для відносно простих ситуацій можуть бути розроблені випадкові моделі поведінки, якщо обмежитись описом поведінкових ймовірностей, які можна знайти в популяції (групі) осіб.

Відповідно до моделі соціальних сил, чуттєвий стимул викликає поведінкову реакцію, яка залежить від особистих цілей і обирається із набору поведінкових альтернатив з метою максимізації корисності. Хелбінгом та Молнаром запропоновано класифікацію подразників на прості або стандартні ситуації, які є добре передбачуваними та складні або нові ситуації, які можуть бути змодельовані за допомогою імовірнісних моделей. Однак, оскільки пішохід звик до ситуацій, з якими він / вона зазвичай стикається, його / її реакція, як правило, досить автоматична і визначається його найкращім досвідом.

Тому можна застосувати рівняння руху для описання правил поведінки пішоходів. Відповідно до цього рівняння систематичні часові зміни бажаної швидкості пішохода описуються векторною величиною, яку можна трактувати як соціальну силу. Вочевидь, ця сила повинна представляти ефект впливу навколишнього середовища (наприклад, інших пішоходів або кордонів) на поведінку описаного пішохода. Однак соціальна сила не перевищується цим впливом, а скоріше, є кількісним показником, що описує спонукання до дії. У випадку з пішоходом поведінка визначається мотивацією або реакцією на сприйняту інформацію, яку він / вона отримує про своє оточення.

Модель соціальних сил є однією з найбільш обговорюваних моделей пішохідної динаміки. Хелбінг та його колеги запропонували ряд удосконалень для моделі соціальних сил. У представленій моделі поведінки пішохода важливими є кілька визначень сили: по-перше, сила, що описує прискорення до бажаної швидкості руху, по-друге, терміни, що відображають, що пішохід тримається певної дистанції до інших пішоходів та кордонів, по-третє, термін, що моделює ефекти залучення.

Модель зосереджується більше на силах взаємодії між агентами, ніж на рушійній силі. Базове рівняння для рушійної сили виглядає таким чином [8]:

$$F = \frac{v_0 \cdot v_{01} - \dot{v}}{t} \quad (1.1)$$

де v_0 – бажана швидкість, v_{01} – вектор бажаної швидкості, $\dot{v}$ – поточна швидкість, t – параметр часу інерції.

Результуючі рівняння руху описуються рівняннями Ланжевена.

Модель соціальних сил здатна відтворити кілька природних явищ, які відбуваються під час пішохідного переміщення:

1. Пішоходи зазвичай вибирають найшвидший маршрут;
2. Пішоходи переміщаються з індивідуальною швидкістю, беручи до уваги ситуацію, стать, вік, навколишнє середовище. Швидкість підпорядковується Гаусовому розподілу.

1. Найбільш очевидна сила – так звана рушійна сила, яка відображає спонукання пішохода, щоб переміститися до мети з необхідною швидкістю (описана вище).

2. Найважливіша взаємодія між пішоходами – прагнення зберегти певну відстань до інших пішоходів. Щоб описати цю поведінку, в моделі соціальних сил реалізовано відштовхування. Відштовхування, залежно від відстані між пішоходами, має найвище значення на близькій відстані (але не поза максимальної межі) і прагне до нуля зі збільшенням відстані між пішоходами. Це може бути реалізовано, з використанням показової функції, приводячи до сили, яка описує взаємодії між пішоходами.

3. Зазвичай пішохідні переміщення є анізотропним. Це означає, що дії перед пішоходом важливіші ніж дії, що відбуваються позаду нього. У людей є можливість передбачити дії інших людей, і таким чином вони можуть реагувати на дії, вжиті іншими людьми. Щоб реалізувати це в моделі соціальних сил, дії, що відбуваються в поле зору пішохода, повинні мати більший ступінь впливу, ніж дії пішоходів вироблені всі поля зору. Щоб описати подібну поведінку, форм-фактор поля зору реалізований так, що він залежить від кута між необхідним напрямком переміщення і напрямком пішохода, який виявляє відразливу силу.

4. Сила тертя ковзання є результатом того, що пішоходи намагаються уникнути зіткнення з іншими пішоходами, які рухаються з високою швидкістю на коротких відстанях.

5. Атрактори можуть впливати на поведінку пішоходів. Біг-борд, наприклад, можуть відволікати пішохода, і він переміститься убік нього, а деякі (пожежа, попереджувальна табличка) – відлякати. Привабливість відволікаючих об'єктів залежна від часу і лінійно зменшується до нуля. Атрактори можуть бути змодельовані таким же чином, як і соціальна сила між пішоходами.

6. Пішоходи часто ходять в групах. Після того, як вони поділяються (наприклад, якщо пішоходи повинен уникнути зіткнення з перешкодою), окремі пішоходи намагаються знову перейти у групу. Це здійснюється під впливом сили тяжіння, що діє між пішоходами.

7. Всім пішоходам притаманне індивідуальна поведінка на дорозі, і таким чином їх переміщення може відрізнитися від прийнятих законів. Цей аспект поведінки представлений нормально розподіленим коливаннями.

1.8. Метод дослідження

Дослідження пішохідного руху по вулиці Лермонтова у місті Кривий Ріг (район Центрального ринку) складається з таких етапів:

1. Огляд літературних джерел з планування пішохідного руху з особливою увагою до поведінки пішоходів та відповідних показників ефективності руху.

2. Перевірка можливостей програмного забезпечення VISWALK із врахуванням таких аспектів: розробка моделі, поведінка пішохода, показники ефективності з метою вивчення актуальних для досліджень ситуацій.

3. Проведення польових обстежень пішохідного руху у пікову годину доби за допомогою безпілотного літального апарату.

4. Виконання інтелектуального відеоаналізу пішохідного руху за допомогою платформи DATAFROMSKY [18] для оцінки використання дублюючого наземного пішохідного переходу, поведінки пішоходів, показників ефективності руху.

5. Розробка імітаційної моделі досліджуваної ділянки з урахуванням існуючої ситуації та альтернативи (корегування циклограми пішохідного світлофору).

6. Розробка рекомендацій по результатам дослідження.

Детальне описання особливостей проведення польових обстежень інтенсивності пішохідного руху за допомогою безпілотного літального апарату наведено у наступному розділі. Показниками ефективності руху, що планується отримати на виході, виступатимуть інтенсивність руху у кожному напрямку (осіб/год.) швидкість переміщення (км/год), щільність потоку (осіб/м²), величина прискорення (м/с²), довжина черги транспортних засобів, викликані світлофорним регулюванням.

1.9. Характеристики пішохідного руху в програмі комп'ютерного мікромодельовання за допомогою VISWALK

Мікроскопічне моделювання дорожнього руху широко використовується для аналізу та проектування дорожнього руху (Берклі, 2010). Перевагою моделювання є можливість перевірити, як рух змінюється в

часі для отримання даних щодо складних систем дорожнього руху. При мікроскопічному моделюванні кожен транспортний засіб моделюється та представляється індивідуально, має власну поведінку. Моделювання дорожнього руху дозволяє проаналізувати різний попит із врахуванням схоластичності транспортного процесу, включення випадковості, числових вимірювань, а також візуалізації різних ситуацій дорожнього руху (Сяо, 2005).

Моделювання пішоходів використовується для аналізу пішохідних потоків, наприклад, в аеропортах та на залізничних станціях [11]. Програмне забезпечення для цього типу дослідження часто зосереджується на питаннях щільності пішохідного простору та питаннях евакуації.

Як поєднання цих двох типів моделювання, розроблено відповідне програмне забезпечення для реалістичного моделювання руху пішоходів, інтегрованих у системи дорожнього руху. Програмне забезпечення обробляє як поведінку пішоходів, так і всі характеристики транспортного засобу у потоці руху, намагаючись імітувати їх складну взаємодію. До таких програм відноситься VISWALK від PTV group [11].

1.10. Особливості розробки імітаційної моделі у VISWALK

Розбудова моделі пішохідного руху у програмі VISWALK виконується активується за допомогою піктограми «*Режим редагування пішохода*». Інший режим, який існує в програмному забезпеченні - *Режим дорожнього руху*. Об'єкти мережі в режимі пішохідного руху такі: зони, перешкоди, сходи, інтенсивність руху та маршрути [11]. У якості вихідних показників виступають *час у дорозі* та функція зонального вимірювання. Кілька функцій співпадають у двох різних режимах, таких як відрізки, правила пріоритету, світлосигнальні об'єкти та лічильники. Подібно до моделювання транспортного руху, вихідними даними для моделювання виступають дані про попит, інфраструктурні та експлуатаційні дані.

Типи пішоходів, класи пішоходів, поведінка при русі та типи поведінки на ділянці можуть бути змінені подібно до моделювання атрибутів транспортного засобу [11]. Типи пішоходів визначені заздалегідь, тоді як інші атрибути є необов'язковими і створюються користувачем. Існує два наперед визначені типи пішоходів – чоловік і жінка. Користувач може створювати новий тип пішохода або корегувати значення параметрів за замовчуванням, наприклад максимальне прискорення, параметри поведінки, а також зовнішній вигляд пішохода.

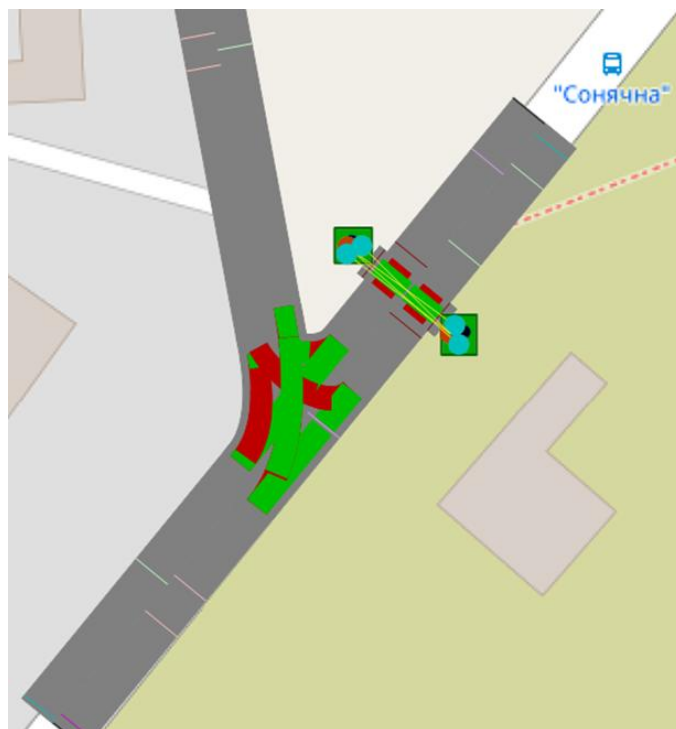


Рис.1.1. Приклад вирішення пішохідної зони (зелений колір) для ділянки перехрестя по вул. мкрн. Сонячний та вул. Об'їзної у місті Кривий Ріг

Склад пішохідного потоку заздалегідь визначений в програмному забезпеченні за замовчуванням із рівним співвідношенням осіб чоловічої та жіночої статі. Розподіл бажаної швидкості пішохідного потоку визначається в атрибуті «склад потоку». Склад пішохідного потоку і розподіл бажаної швидкості може редагуватися користувачем аналогічно тому, як ця функція виконується для транспортних засобів.

Зона для прогулянок, пішохідні та непішохідні зони, перешкоди можна імпортувати з файлів САПР [11]. Однак імпортувати можна лише закриті багатокутники, у той час, як інші форми перешкод, наприклад, паркани, намальовані у вигляді ліній, необхідно створювати вручну безпосередньо в програмному середовищі. Для кожної пішохідної зони можна призначити тип поведінки пішохода, час перебування, черги і використання громадського транспорту.

Перекриття зон відповідає вільному переміщенню між ними. Пандуси, такі як сходи або ескалатори, використовуються для з'єднання пішохідних зон на різних рівнях. Пішоходи можуть пересуватися лише по призначених ділянках та пандусах, отже ці ділянки створюються на всіх місцях для прогулянок. Якщо на ділянці є місце, де пішоходи цього не роблять, або не можуть рухатися, на пішохідній зоні може бути створена перешкода. Раніше створенню більшої кількості зон малої площі надається перевага над створенням однієї великої площі для зменшення витрат часу на розрахунок [11]. У теперішній час дане питання гостро не стоїть.

Атрибут, що дозволяє моделювати взаємодію між пішоходами та мультимодальну взаємодію – пішохідні зв'язки. Для інших видів транспорту зв'язок створюється як одна спрямована ланка з можливістю визначення декількох смуг, ширини проїзної частини та поворотів.

Створення пішохідних зв'язків проводиться аналогічно відрізкам із подальшим призначенням типу відрізка як пішохідної зони. Для цього в атрибутах створеного відрізка в графі *«Тип манери поведінки»* вказується: *«Пішохідна доріжка (без взаємодії)»*. У графі *«Тип зображення»* необхідно вказати: *«Пішохідна зона сірий»*.

У VISWALK є можливість створити зв'язок/відрізок протилежного напрямку для моделювання руху в обох напрямках. Порівняно з зв'язками для руху транспорту, пішохідні зв'язки не можуть мати вигнуту форму або містити вхідну інтенсивність руху пішоходів.

Взаємодія пішохода / транспортного засобу моделюється за допомогою зв'язків і регулюється за допомогою таких же функцій як взаємодія між транспортними засобами. Варіантами регулювання пішохідного руху виступають світлофорні установки, конфліктні зони, детектори, правила пріоритету. Вони реалізуються у програмі аналогічно моделюванню взаємодії транспортних засобів між собою.

Однак звернемо увагу, що оскільки пішохідний зв'язок насправді є двома зустрічними відрізками, це створює дві зони конфлікту, і слід дотримуватися обережності при розміщенні світлофорів. На нерегульованих переходах рекомендується надавати перевагу функції конфліктних зон, а не правилам пріоритету. Конфліктна зона створюється автоматично на всіх місцях, де можуть виникати конфлікти, отже, де проходять дві ланки. Користувач повинен визначити, як відбувається регулювання конфліктної зони. Якщо цього не зробити, втрачається зв'язок між рухом та відповідним відрізком. При взаємодії пішохода / транспортного засобу пріоритет може бути надано або транспортним засобам, або пішоходам. Це відрізняється від взаємодії типу «транспортний засіб / транспортний засіб», де також доступна опція «дати дорогу», що надає пріоритет транспортному засобу, який прибуває першим до зони конфлікту.

Існує два методи визначення пішоходів та їх руху, а саме, за двома ознаками: інтенсивність пішохідних потоків та пішохідні маршрути або за допомогою матриці зародження-призначення. Перший варіант є аналогом створення руху транспортних засобів. Два методи пояснимо окремо, враховуючи, що обидва методи можуть бути використані в одному моделюванні.

По-перше, створюються входи для пішоходів (інтенсивність руху), що визначають кількість пішоходів на годину та склад потоку для кожного входу. Подібно до задавання інтенсивності транспортного руху на вході, потік може змінюватися для різних часових кроків. Потім створюються маршрути з точок походження до різних областей призначення. Принцип розподілу вхідних

потоків для пішоходів від місця початку до пункту призначення визначається на основі врахування статичного відсотку для маршрутів з однаковим початком. Отже, кількість пішоходів, які користуються маршрутом, залежить від вхідного потоку даного співвідношення.

Фактичний шлях руху пішоходів розраховується програмою з обраних входів та пунктів призначення. Якщо пішохідний маршрут містить більше двох фіксованих точок початку і пункту призначення, або якщо користувач хоче визначити маршрути більш детально, можуть використовуватися проміжні пункти або часткові маршрути. Проміжні пункти використовується для змушення пішоходів проїхати певний пункт під час маршруту. Часткові маршрути є визначеними на ділянках, де відбувається кілька статичних маршрутів. Тут пішоходи розподіляються за частковими маршрутами, а після їх завершення вони продовжують рух по своєму первинному статичному маршруту. Для імітації, наприклад, відвідування банкомату, можна використовувати часткові маршрути. Користувач може визначити, як пішоходи будуть розподілятися між частковими маршрутами для пояснення моделей вибору маршруту.

Іншим варіантом визначення вхідного потоку пішоходів є матриця OD (зародження-призначення). Вважається швидшим варіантом; однак він виключає використання проміжних пунктів та часткових маршрутів. Коли створюються пішохідні зони, користувач може вибрати його визначення як місце походження та / або призначення. Таким чином OD-матриця створюється автоматично з початком, представленим у рядках, і пунктами призначення у стовпцях. За потреби користувач замість цього можна вручну додавати походження та призначення до матриці. За OD-матрицею величина інтенсивності пішохідного потоку вводиться у кожен клітинку від кожного початкового пункту до кожного пункту призначення, визначена у пішоходах за годину.

Метод є зручним при використанні готових OD-матриць, визначених за допомогою програми інтелектуального аналізу руху DATAFROMSKY.

Для обох методів кількість пішоходів додається як абсолютна чи стохастична величина, визначена у пішоходах за годину. Пішоходи рухаються випадковим чином, як у часі, так і в просторі, із заздалегідь визначеним складом потоку і в межах зони походження. Як тільки пішоходи досягнуть місця призначення, потік розсіюється.

1.12. Поведінка пішоходів

Поведінка пішоходів у VISWALK базується на моделі соціальних сил, детальне описання якої приведене у даній роботі. Модель соціальних сил для відображення пішохідного руху у VISWALK розроблена Д. Хельбінгом та П. Молнаром [16]. Вона перероблена в декількох дослідженнях з моменту її створення, і Парисі, Гілман узагальнюють думки щодо цієї моделі, надаючи їй означення як «відомої безперервної моделі для опису пішохідної динаміки, яка якісно відтворює багато самоорганізуючих явищ» [16].

Реалізація моделі соціальної сили у VISWALK вимагає попереднього визначення параметрів руху пішохода (див. табл.2.1).

Параметри для пішоходів у VISWALK знаходяться на вкладці *«параметри за типом пішохода»* та можуть мати різні значення для різних типів пішоходів, та вкладці *«глобальні параметри»*, які є однаковими для всіх пішоходів в рамках одного моделювання [11]. Усі вони містяться у файлі параметрів поведінки. Значення за замовчуванням піддаються калібруванню, щоб представити «помірний консервативний середній показник дорослої людини».

Тим не менше, користувач має можливість регулювати ці параметри та визначати новий тип пішохода. Прикладами параметрів за типом пішохода є час релаксації, який визначає агресивність та вплив інших пішоходів, та визначається впливом відносної швидкості між пішоходами.

Табл.1.1

Фактори, враховані в моделі соціальних сил у VISWALK

Фактор	Вплив	Описання
Бажаний напрямок руху	Напрямок	Пішоходи йдуть найкоротшим шляхом до місця призначення
Бажана швидкість руху	Прискорення	Швидкість вільного потоку. Варіює для кожного пішохода
Час релаксації	Прискорення	Час, протягом якого пішоходи намагаються досягти бажаної швидкості
Інші пішоходи	Відштовхувальний ефект	Пішоходи уникають зближення з незнайомцями
Перешкоди	Відштовхувальний ефект	Пішоходи уникають будівель, перешкод. Чим більше вони наближаються до перешкод, тим більш уважнішими вони стають
Атрактори	Відволікаючий ефект	Пішоходи відволікаються на друзів, афіши, вікна і т.д.
Кут огляду	Зважування факторів	Речі попереду впливатимуть значно більше на пішохода, ніж речі за ним
Флуктуація	Випадкове відхилення	Включається деяка випадковість, наприклад, для вибору між двома рівними варіантами

Склад пішохідного потоку визначається шляхом вибору одного або декількох типів пішоходів та визначення бажаної швидкості та співвідношення для кожного обраного типу. Бажана швидкість встановлюється вибором заздалегідь визначеного розподілу швидкості. Саме склад пішохідного потоку використовується як вхідний потік для маршруту або OD-матриці.

Функція *«поведінка при ходьбі у певній зоні»* разом із *«поведінкою при ходьбі»* дозволяє змінювати поведінку та швидкість руху серед пішохідних груп, районів у різних інтервалах часу.

1.13. Вибір маршруту руху

Згадані раніше глобальні параметри впливають на вибір маршруту. Параметри VISWALK для так званого «динамічного потенціалу», спрямовані на те, щоб змусити пішоходів знайти шлях з найкоротшим часом подорожі, відкалібровані кількома дослідженнями. Одним із найсвіжіших зусиль з питань калібрування руху засновані на тому, що вони включали пішоходів до системи телеприсутності, де учасники отримують відчуття перебування у віртуальному середовищі, а їх рухи при цьому детально відстежуються (дослідження Роки [12]).

Пішоходи у VISWALK шукають найкоротший шлях до визначеного, проміжного та фінального місця призначення. За замовчуванням використовується метод із вибором статичного маршруту, коли обчислюється найкоротший шлях для кожної OD-пари, а потім він застосовується для всіх пішоходів, призначених цій OD-парі під час моделювання. За бажанням динамічний потенціал може бути реалізований для вибраних маршрутів, роблячи перерахунок найкоротшого шляху для кожного пішохода на кожному часовому кроці, враховуючи інших пішоходів у системі. Користувач визначає, наскільки ці розрахунки повинні впливати на вибір маршруту та тривалість часового кроку.

При використанні входів і маршрутів для визначення пішохідних потоків можуть бути створені проміжні точки. Вони обробляються як проміжні пункти призначення; шлях від початку до проміжної точки та шлях від проміжної точки до кінцевого пункту призначення розраховуються окремо.

На закінчення є кілька варіантів та можливостей зміни поведінки пішохода та вибору маршруту в рамках моделювання у VISWALK. Параметри взаємодії з іншими пішоходами та розподіл швидкості може бути змінений користувачем, але також доступні налаштування за замовчуванням. Вибір пішохідного маршруту за замовчуванням вважається найкоротшим шляхом,

але доступні й інші варіанти, наприклад, безперервне обчислення найшвидшого шляху, враховуючи інших пішоходів, або оцінюючи результати попереднього руху пішоходів з тим же самими пунктом походження і пунктом призначення.

1.14. Оціночні характеристики пішохідного руху

Оціночною характеристикою пішохідного руху може виступати рівень обслуговування, (LOS), концепція представлена у Керівництві з експлуатації автодоріг [9] в США ще в 1965 р. Критерій складається з шести діапазонів значень, від А, який є найбільш зручною ситуацією, до F, який є найбільш поганою ситуацією. Галузеві стандарти LOS для пішоходів були розроблені з урахуванням специфікації для діапазонів від А до F. Визнаний LOS стандарт для пішоходів розроблений Фруїном, визначаючи рівні щільності для відповідних діапазонів (Fruin, 1971). Для різних пішохідних зон передбачені різні значення рівня обслуговування. LOS А для тротуару відповідає вільному потоку, коли пішоходи рухаються безперешкодно і плавно пропускають один одного. LOS F відповідає ситуації, коли щільність є критичною, а пішоходи часто вимушені зупинитися, бо вони перебивають одне одного. Існує кілька стандартів LOS, і вони може враховувати щільність пішохода, затримку та / або швидкість.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1. Характеристика ділянки дослідження

На досліджуваній ділянці по вулиці Лермонтова розташована зупинка громадського транспорту «Центральний ринок». Ця зупинка є центром пасажиропоглинання та пасажироутворення, відповідно, на пішохідному переході із світлофором, який був влаштований як тимчасове рішення при реконструкції підземного пішохідного переходу, у вихідні дні велика кількість людей переміщується до Центрального ринку та торгівельних комплексів поблизу, користуючись або підземним або дублюючим його наземним переходом.

Перевагою підземного пішохідного переходу є повне розведення у просторі пішохідних та транспортних потоків, що є актуальним для заміських автомагістралей.

З позицій сучасної урбаністики влаштування підземного пішохідного переходу на міських вулицях є невиправданим рішенням [12]. Підземні пішохідні переходи мають ряд суттєвих недоліків:

1. обмеженість доступу до переходу для маломобільних верств населення (людей похилого віку, інвалідів, батьків із дітьми у візках);
2. висока вартість будівництва, реконструкції підземного переходу;
3. висока вартість утримання підземного переходу;
4. психологічні особливості людини, яка намагається уникнути зайвої перешкоди у вигляді необхідності спуску під землю та підйому по сходинкам, скоротити шлях руху, що спричиняє перебігання вулиці в заборонених місцях, підвищуючи вірогідність потрапляння пішохода в ДТП.
5. криміналізація пішохідного простору у середині підземного переходу.

Слід відмітити, що не всі зазначені недоліки будуть стосуватись підземного переходу по вулиці Лермонтова, тому що його реконструкцію вже

виконано. Тільки через півроку після відкриття переходу було налаштовано підйомник для спуску та підйому у перехід на візках (рис.3.1). Окрім події відкриття даного підйомника [], поки що не виявилось реальних випадків його застосування. Крім того, навіть у пікові години доби, не всі входи до переходу доступні для населення міста, у тому числі закритий доступ до підйомника.

Під час реконструкції переходу для перетину пішоходами вулиці Лермонтова встановлено світлофорний об'єкт. Після закінчення будівельних робіт, він продовжує користуватись великим попитом населення. Більшість, керуючись простими правилами скорочення часу у дорозі та уникнення зайвих перешкод, користується саме наземним переходом. Крім того, вулиця Лермонтова, являючись магістральною у місті, одночасно має порівняно невелику ширину проїзної частини (по дві смуги руху в одному напрямку), що додає зручності у перетині даної вулиці через наземних перехід.

Після звернення представників громадської організації «Об'єднання відповідальних громадян» до Центрально-міського виконкому про необхідність залишити регульований світлофором пішохідний перехід отримано відповідь, що відстань до найближчого регульованого переходу становить менше 300 м, що за містобудівними нормами не дозволяє розмістити на постійній основі даний наземний перехід. Однак на даний момент, не дивлячись на відкриття реконструйованого підземного переходу, саме наземний перехід залишається основним способом перетину пішоходами вулиці Лермонтова у районі Центрального ринку.

Для встановлення кількісних показників розподілу пішохідних потоків між двома переходами необхідно провести обстеження на місці. Чи дозволило встановлення світлофору заспокоїти дорожній рух у частині більш рівномірного розподілу транспортних потоків по вулиці Лермонтова потребує також додаткових обстежень із залученням ділянки перехрестя «вулиця Лермонтова – вулиця Старовокзальна» далі за пішохідним світлофором. Єдина мікроімітаційна модель всіх вказаних ділянок надасть інформацію про оціночні показники впливу світлофорного регулювання на роботу частини

вулично-дорожньої мережі. Таким чином, межі дослідження визначатимуть межі польових обстежень та мікроімітаційного моделювання (рис.3.2).

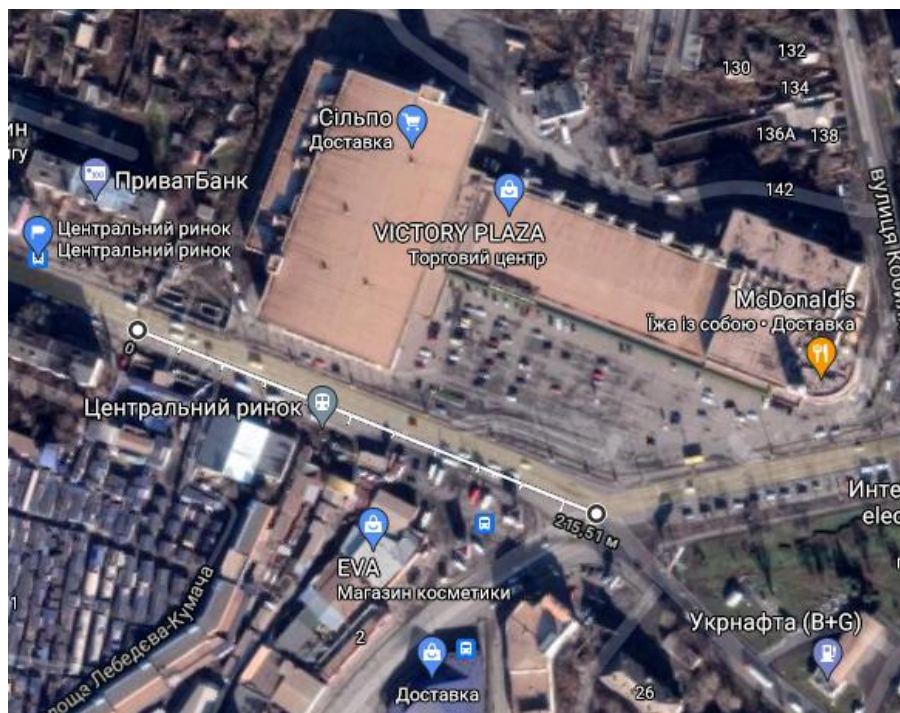


Рис. 3.2. Ділянка дослідження



Рис.3.3. Стан підйомнику для маломобільних груп населення у підземному пішохідному переході по вулиці Лермонтова

3.2. Проведення повітряної відеозйомки пішохідного та транспортного руху

DataFromSky Viewer – це хмарна програма, яка працює із відеозаписом про транспортний та пішохідний рух. На основі штучного інтелекту, який використовується в DataFromSky AI, у відеозаписі виявляються об'єкти та їх траєкторії [18].

Для отримання оптимального відеозапису з безпілотного літального апарату (БПЛА) виробником програмного забезпечення розроблено відповідні рекомендації. Перш за все, це висота польоту БПЛА на рівні 25-30 м. Польот на висоті від 50 до 100 м є рекомендованим для запису транспортного руху на перехресті. У разі відстеження пішохідного руху на такій висоті пішоходи розпізнаються як окремі точки, рух яких важко розпізнається програмою комп'ютерного зору.

По-друге, це кут зйомки по відношенню до центру досліджуваної ділянки. Якщо для відстеження транспортного руху допустима зйомка над центром ділянки, то для зйомки пішохідного руху необхідним стає розташування БПЛА під кутом до центру ділянки для можливості якіснішого розпізнання силуетів пішоходів.

Обстеження проводилось у вихідний день у період з 11-00 до 12-00 години вихідного дня, коли максимізується попит населення на переміщення до Центрального ринку та торгівельно-розважальних комплексів, таких як Вікторі Плаза, Фокстрот та інші.

Для перехрестя вулиць «Лермонтова-Старовокзальна» зйомка проводилась на висоті 100 м над центром перехрестя відповідно до рекомендацій DataFromSky [18].

Роздільна здатність отриманого відеоролику – 1920 на 1080 пікселів, частота кадрів – 59,9 кадрів/с. БПЛА – DJI Mavic Air 2.

3.3. Інтелектуальний відеоаналіз пішохідного та транспортного руху на ділянці наземного пішохідного переходу

В DataFromSky Viewer для підрахунку кількості пішоходів або транспортних засобів, які проходять у відповідному напрямку, необхідно на зображенні вказати віртуальні лінії (лічильники – *Gates*). Лічильники задаються для входу та виходу потоку, відповідно це вхідні (зелений колір) та вихідні лічильники (червоний колір).

Нумерація лічильників показана на рис.3.3, де окремо виділені лічильники транспортних засобів (*Gate 6–9*) та пішоходів (*Gate 10 –13*). Прив'язка відеоролику до географічних координат у системі WSG-84 показана на рис.3.4. Вхідний лічильник *Gate 6* відповідає наближенню транспортних засобів збоку 95 кварталу, а вхідний лічильник *Gate 9* – збоку пл.Визволення.



Рис.3.3. Позначення робочого простору у DataFromSky Viewer

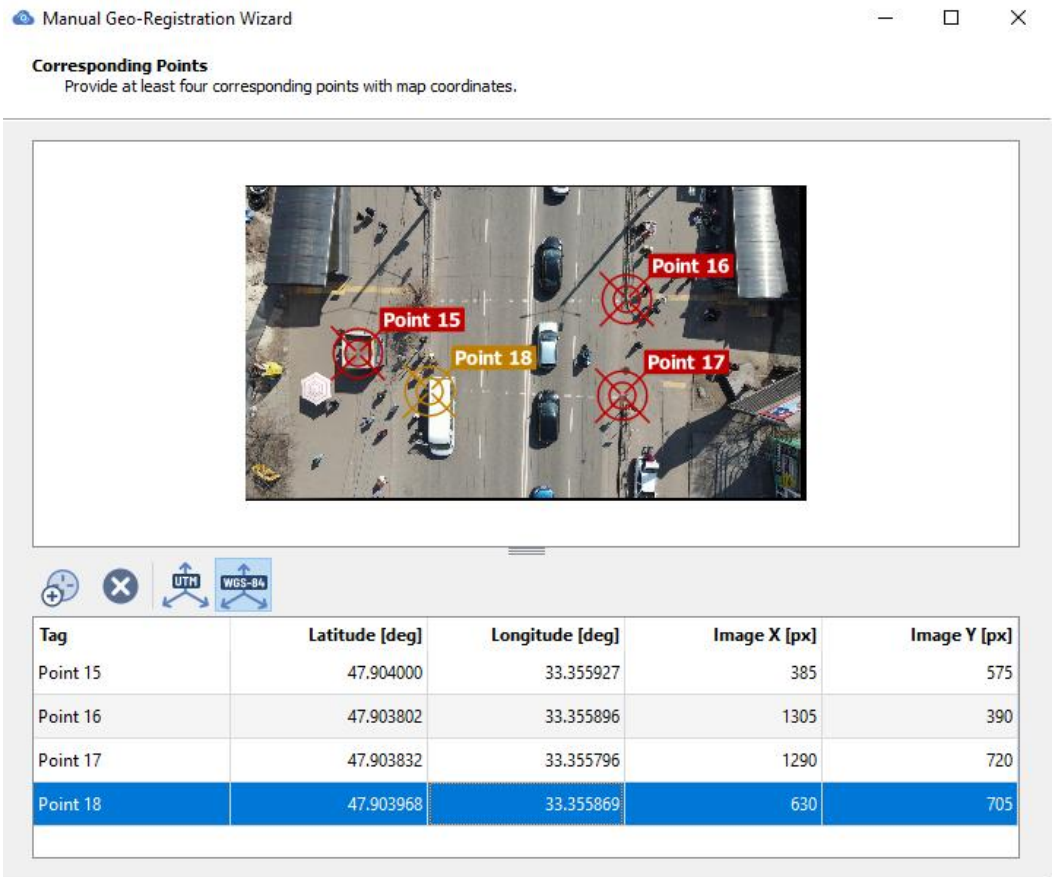


Рис.3.4.Геореєстрація відеокадру

Отримані показники інтенсивності транспортного та пішохідного потоку показані у табл.3.1.

Табл.3.1

**Інтенсивність транспортних та пішохідних потоків на ділянці,
од/год.**

Напрямок	Збоку проспекту Миру	Збоку пл. Визволення	Убік Центрального ринку	Від Центрального ринку
Транспортний потік	1268	1240	-	-
Пішохідний потік	-	-	900	870

Для транспортних потоків інтенсивність наведено у приведених одиницях, де розподіл коефіцієнтів приведення виглядає таким чином: 1,0 –

легковий автомобіль; 2,0 – вантажний автомобіль із вантажопідйомністю до 3,5т; 2,0 – автобус; 1,5 – маршрутка; 3,0 – тролейбус [19].

Склад транспортних потоків на досліджуваній ділянці відповідно до Traffic Analysis з DataFromSky Viewer представлений у таблиці 3.2.

Табл.3.2

Склад транспортних потоків, %

Напрямок	Збоку проспекту Миру	Збоку площі Визволення
Легкові автомобілі	80	83
Вантажні автомобілі із вантажопідйомністю до 3,5т	9	4
Вантажні автомобілі із вантажопідйомністю більше 3,5т	0	0
Довгоміри	0	0
Автобуси	1	2
Маршрутки	9	9
Тролейбуси	1	2

Ділянка характеризується великою кількістю маршрутів громадського транспорту, що у складі транспортного потоку виливається у показник на рівні 11– 13% різних видів громадського транспорту від загальної кількості транспортних засобів.

З таблиці 3.1 також випливає, що інтенсивність пішохідного руху в обох напрямках (убік та від Центрального ринку) порівняна та знаходиться на рівні 870 – 900 осіб/годину.

За період польових обстежень (1 година з 11-00 до 12-00 для візуального спостереження та 15 хвилин повітряної відеозйомки) підземним переходом скористувалось 316 осіб, що складає 15% від загальної кількості пішоходів. Підземний перехід був задіяний виключно у ті проміжки часу, коли забороняється перехід вулиці по наземному переходу.

3.4. Інтелектуальний відеоаналіз транспортного руху на перехресті вулиць Лермонтова та Старовокзальної

Для Х-подібного перехрестя вулиць Лермонтова та Старовокзальної використана та ж сама методологія обстеження, що й для ділянки біля Центрального ринку. Конфігурація позначень представлена на рис.3.5.

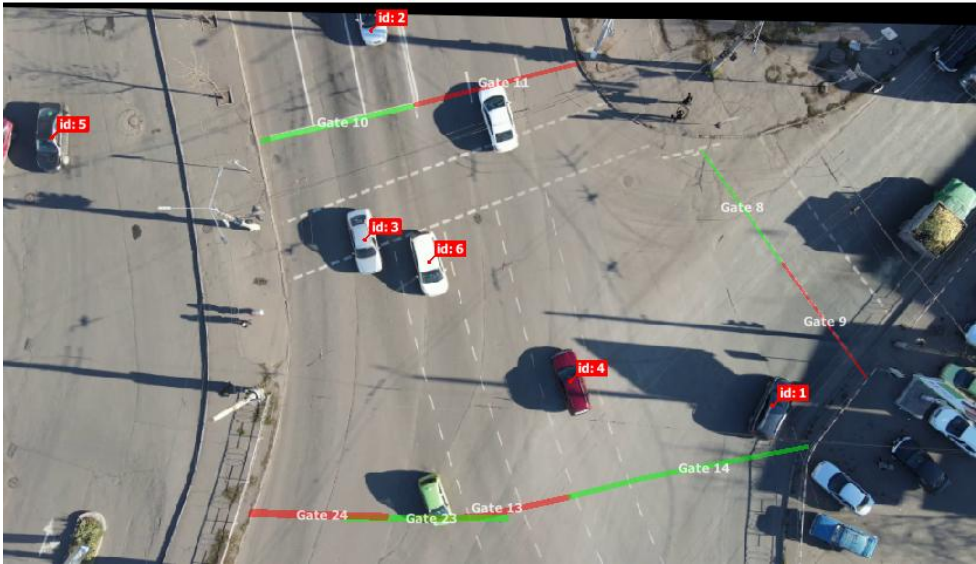


Рис.3.5. Конфігурація позначень в DataFromSky Viewer

Табл.3.3

Позначення вхідних та вихідних лічильників та напрями відповідних транспортних потоків

Номер та позначення лічильника	Тип лічильника	Напрямок транспортного потоку
Gate 8	Вхідний	В’їзд на вулицю Лермонтова збоку вул.Кобилянського
Gate 9	Вихідний	З’їзд з вулиці Лермонтова на вулицю Кобилянського
Gate 10	Вхідний	Прямий рух по вул.Лермонтова убік пл.Визволення до перехрестя
Gate 11	Вихідний	Прямий рух по вул.Лермонтова убік проспекту Миру після перехрестя
Gate 13	Вихідний	Поворотний рух по вул.Лермонтова убік вулиці Старовокзальної
Gate 14	Вхідний	Прямий рух по вул.Лермонтова убік проспекту Миру до перехрестя
Gate 23	Вхідний	В’їзд на перехрестя по вулиці Лермонтова (прямий рух)
Gate 24	Вихідний	Виїзд на перехрестя по вулиці Лермонтова (прямий рух)

Відповідно до позначень (рис.3.5), у DataFromSky Viewer визначені OD-матриці (рис.3.6) та діаграма інтенсивності транспортного руху.

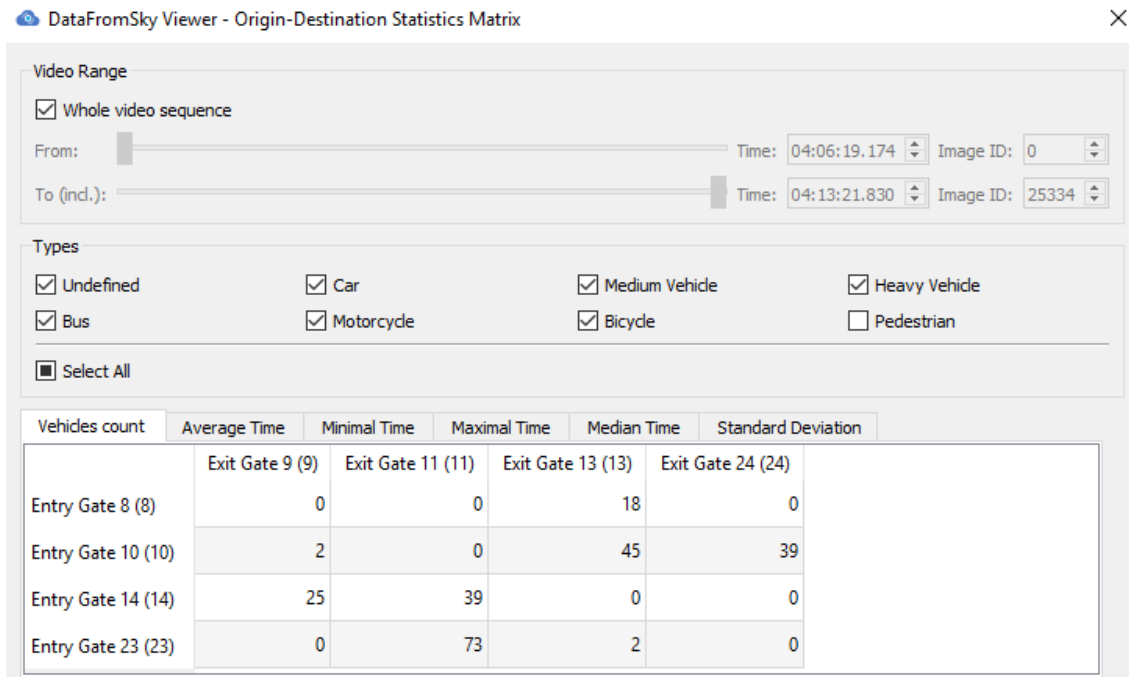


Рис.3.6. OD-матриця транспортних потоків для 15-хвилинного інтервалу

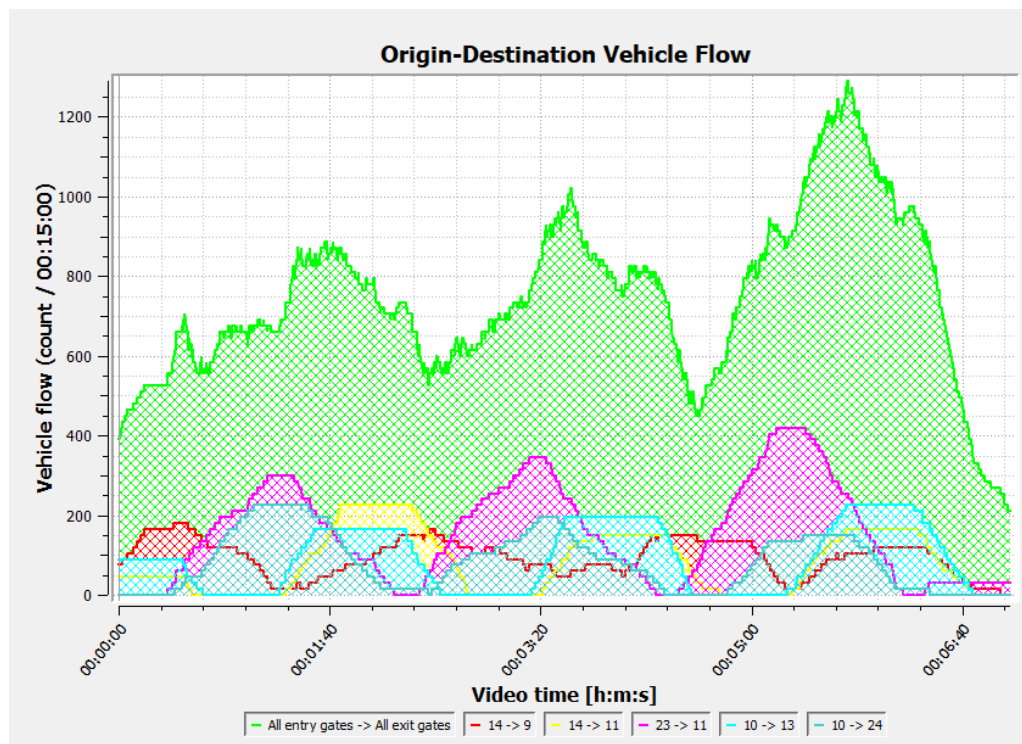


Рис.3.7. Діаграма годинної інтенсивності руху для всіх лічильників та найбільш завантажених напрямків

	Gate 8	Gate 10	Gate 14	Gate 23	Gate 9	Gate 11	Gate 13	Gate 24
Min speed [km/h]	18.55	4.88	5.20	2.27	13.67	8.73	2.08	6.91
Max speed [km/h]	57.53	24.02	49.64	24.41	75.15	27.10	24.87	16.45
Average speed [km/h]	38.60	14.15	15.91	13.24	29.78	18.05	12.91	11.69
Car count	15	80	77	114	41	108	99	33
Medium Vehicle count	2	2	3	10	3	5	7	0
Heavy Vehicle count	1	2	1	2	1	1	1	1
Bus count	1	5	6	5	7	3	5	5
Motorcycle count	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicycle count	0	0	0	0	0	0	0	0
Pedestrian count	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of all vehicles	19	89	87	131	52	117	112	39

Рис.3.8. Розподіл кількості транспортних засобів, що пройшли через вхідні/вихідні лічильники

Значення кількості транспортних засобів в OD-матрицях та склад транспортного потоку (рис.3.8) у подальшому використані в якості вхідних параметрів для імітаційної моделі у програмному середовищі VISSIM.

Як бачимо з рис.3.8, склад потоку близький до того, який був визначений для досліджуваної ділянки, де знаходиться пішохідний перехід, з перевагою легкового автотранспорту. Виділяються транспортні потоки по вулиці Лермонтова від вулиці Кобилянського, для яких середня швидкість руху більше ніж в двічі перевищує середню швидкість на входах, що залишились.

Програмне забезпечення DataFromSky Viewer надає можливість визначити функції розподілу швидкостей руху об'єктів відстеження (швидкість підпорядковується нормальному розподілу) зі звіту Traffic Analysis, доступному у файл формату CSV. За даними відстеження 349 траєкторій в DataFromSky Viewer визначені показники швидкості/прискорення по кожному об'єкту. Відсортуючи ці показники на 4 входу по перетину, побудовано функцію розподілу швидкості кожного вхідного потоку (рис. 3.9), які будуть використані на етапі калібрування імітаційної моделі перетину (див.п.3.3). Дані про склад транспортних потоків (рис.3.8) також використовуються з метою калібрування імітаційної моделі.

Окрім швидкостей руху, для транспортних засобів усереднено величину повздовжніх прискорень для калібрування моделі зміни смуги руху у VISSIM.

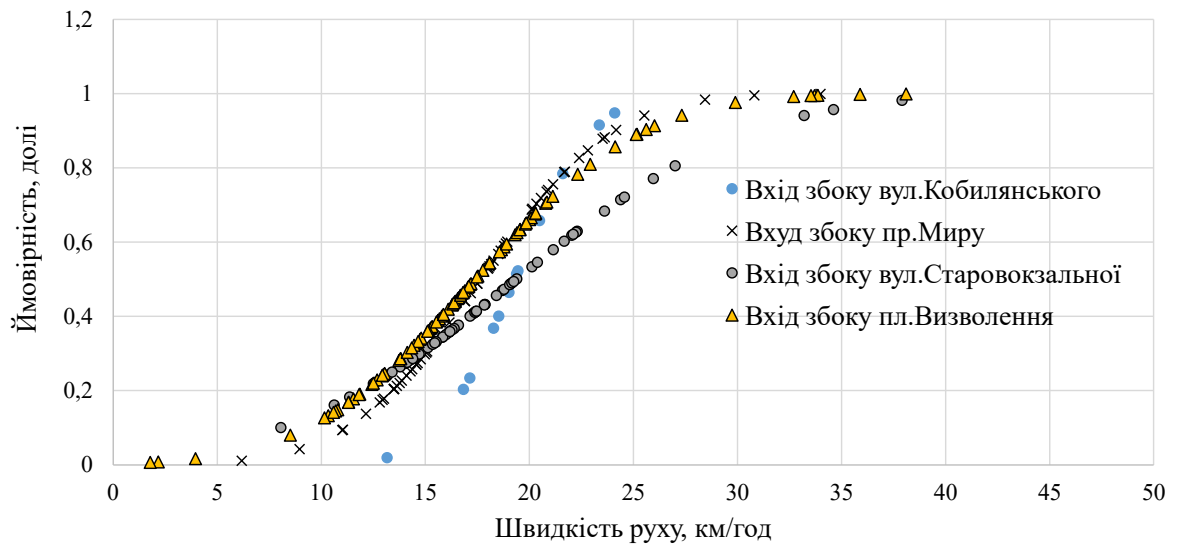


Рис.3.9. Функції розподілу швидкостей руху транспортних засобів у вхідних потоках

3.5. Розрахунок світлофорної сигналізації для регульованого пішохідного переходу

Відповідно до отриманих даних по інтенсивності та складу потоків пішоходів та транспорту, можливим стає перевірити ефективність роботи світлофорної сигналізації на регульованому пішохідному переході за відомою методикою [19] для проробки варіанту альтернативного циклу регулювання у VISSIM. Світлофорне регулювання на пішохідному переході є частковим випадком регулювання на перетині автомобільних доріг з пішохідною фазою (рис.3.10), тому методика для обох випадків не буде відрізнятись.

Розрахунок режиму світлофорної сигналізації на пішохідному переході, розташованому поза зоною регульованого перетину автомобільних доріг, рекомендується виконуватися в наступному порядку:

- визначення тривалості дозволяючого сигналу пішохідного світлофора;
- визначення тривалості циклу світлофорного регулювання;

- визначення тривалості дозволяючого сигналу транспортного світлофора.

Тривалість дозволяючого сигналу пішохідного світлофору у секундах визначають, виходячи із ширини переходу та усередненого показника швидкості пішохода [19]:

$$t_{\text{рп}} = \frac{B_{\text{пч}}}{v_{\text{рп}}} + 5$$

де $B_{\text{пч}}$ – ширина проїзної частини, м; $v_{\text{рп}}$ – розрахункова швидкість руху пішохода, м/с (пропонується приймати рівною 1,3 м/с).

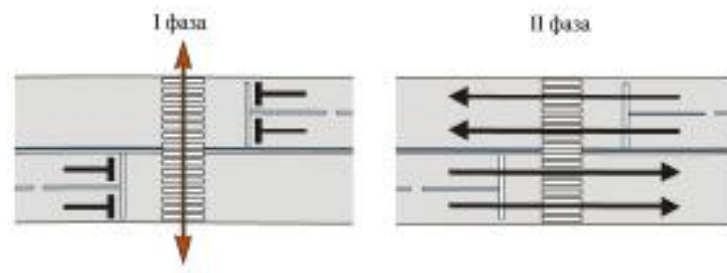


Рис.3.10. Пофазний роз'їзд транспортних та пішохідних потоків

У першій фазі пішоходи переходять проїзду частину шириною 15м, час, необхідний для цього, визначатиметься, с:

$$t_{\text{рп}} = \frac{15}{1,3} + 5 = 17$$

Друга фаза передбачає прямолінійний рух по вулиці Лермонтова. Потік насичення для даної фази визначатиметься, од/год.:

$$M_{\text{ні}} = 525 \cdot B_{\text{пч}}$$

За шириною проїзної частини по вулиці Лермонтова при ширині смуги руху у 3,75 м, потік насичення, од./год.:

$$M_{\text{н(1)}} = M_{\text{н(2)}} = 525 \cdot 7,5 = 3938$$

Фазові коефіцієнти:

$$y_{(1)} = 0,23; \quad y_{(2)} = 0,19$$

Приймаємо більше значення $y=0,23$.

Проміжний такт для пішохідної фази, с, розраховуємо, приймаючи швидкість пішоходів рівною 1,3 м/с:

$$t_{\text{пп}} = \frac{15}{4 \cdot 1,3} = 3$$

$$T_{\text{п}} = 3 + 3 = 6$$

За розрахункову швидкість для визначення проміжного такту транспортної фази приймаємо рівною 50 км/год (обмежується правилами дорожнього руху):

$$t_{\text{п}} = \frac{v_a}{7,2 \cdot a_t} + \frac{3,6 \cdot (l_i + l_a)}{v_a} = \frac{50}{7,2 \cdot 4} + \frac{3,6 \cdot (3 + 5)}{50} = 3$$

де v_a – середня швидкість транспортних засобів під час руху на підході до перетину і в його зоні без гальмування (з ходу), км/год; a_t – середнє уповільнення транспортного засобу при включенні заборонного сигналу (для практичних розрахунків приймаємо за даними інтелектуального відеаналізу руху $a_t = 3 \text{ м/с}^2$); l_i – відстань від стоп-ліній до найдалшої конфліктної точки, м; l_a – довжина транспортного засобу, який найбільш часто зустрічається в потоці, м.

Визначимо цикл регулювання та основні такти для світлофорного регулювання з пішохідною фазою, с:

$$T_{\text{ц}} = \frac{A}{2 \cdot B} + \sqrt{\frac{A^2}{4 + B^2} - \frac{(T_{\text{п}} + T_{\text{пш}}) \cdot (1,5 + T_{\text{п}} + 5)}{A}}$$

Коефіцієнти:

$$A = 2,5 \cdot T_{\text{п}} - T_{\text{п}} \cdot y_2 + T_{\text{пш}} + 5 = 2,5 \cdot 13 - 13 \cdot 0,44 + 23 + 5 = 35,6$$

$$B = 1 - y_2 = 0,77$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{35,6}{2 \cdot 0,77} + \sqrt{\frac{35,6^2}{4 + 0,77^2} - \frac{322}{0,77}} = 34$$

$$t_{\text{пш}} = 23 \text{ с}, t_{02} = T_{\text{ц}} - T_{\text{п}} - t_{\text{пш}}, t_{02} = 34 - 6 - 17 = 11 \text{ с}$$

Розрахуємо показник ефективності світлофорного регулювання – транспортну затримку на досліджуваній ділянці.

$$\rho_1 = \frac{t_{ni}}{T_{ц}} = \frac{11}{34} = 0,32$$

$$x_i = \frac{N_i \cdot T_{ц}}{t_{oi} \cdot M_{hi}}$$

$$x_1 = \frac{900 \cdot 34}{11 \cdot 3938} = 0,70$$

$$x_1 = \frac{870 \cdot 34}{11 \cdot 3938} = 0,68.$$

Середня затримка визначається за такою формулою, с:

$$t = 0,9 \cdot \left[\frac{T_{ц} \cdot (1 - \rho_i)^2}{2 \cdot (1 - \rho_i \cdot x_i)^2} + \frac{x_i^2}{2 \cdot N_i \cdot (1 - x_i)} \right]$$

Середня затримка для напрямку руху убік Центрального ринку:

$$t_1 = 0,9 \cdot \left[\frac{34 \cdot (1 - 0,32)^2}{2 \cdot (1 - 0,32 \cdot 0,70)^2} + \frac{0,7^2}{2 \cdot 900 \cdot (1 - 0,70)} \right] = 12 \text{ с.}$$

Середня затримка для напрямку руху від Центрального ринку:

$$t_2 = 0,9 \cdot \left[\frac{34 \cdot (1 - 0,32)^2}{2 \cdot (1 - 0,32 \cdot 0,68)^2} + \frac{0,68^2}{2 \cdot 870 \cdot (1 - 0,68)} \right] = 11 \text{ с.}$$

Середня затримка на ділянці розраховується як середньозважене значення, с:

$$t_c = \frac{t_1 \cdot N_1 + t_2 \cdot N_2}{N_1 + N_2} = 11,5$$

Розстановка технічних засобів організації дорожнього руху на даному регульованому пішохідному переході приведена на рис.3.11.

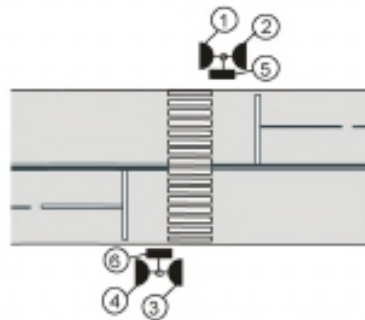


Рис. 3.11. Розташування технічних засобів організації руху на регульованому пішохідному переході

Графік роботи світлофорної сигналізації

Номера світлофорів		Тривалість, с		
		Тз	Тж	Тч
5,6		17	3	14
1, 2, 3, 4		11	3	20

3.6. Особливості розробки базової імітаційної моделі

Імітаційна модель розроблена у програмному середовищі PTV VISSIM у повній відповідності до вимог щодо транспортного моделювання [12].

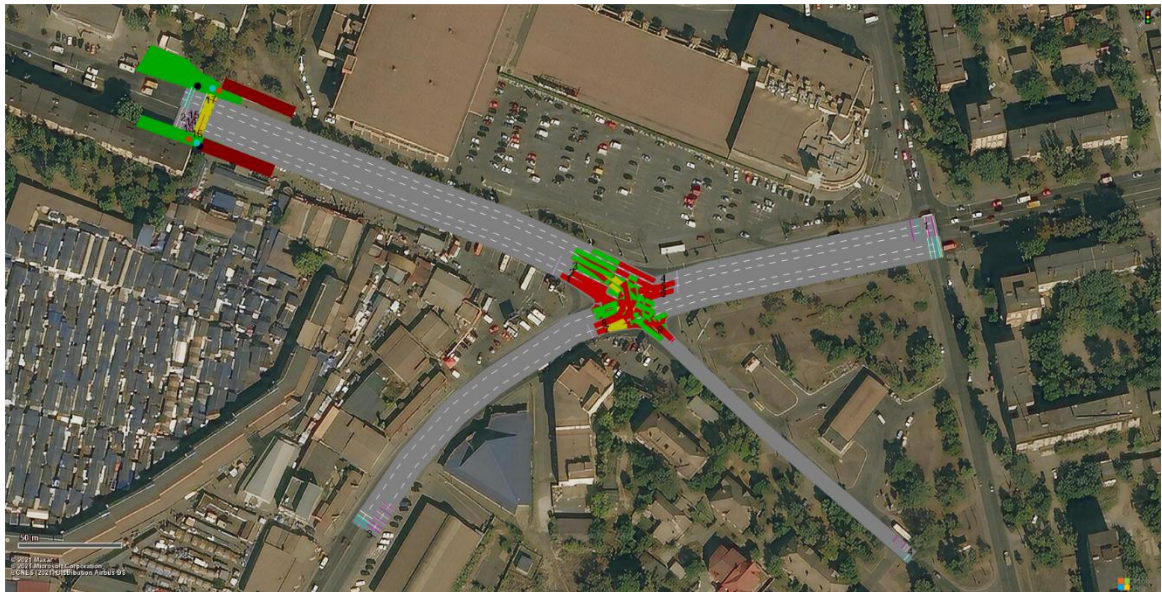


Рис.3.12. Маркування робочої області моделі.

На рис.3.12 показана імітаційна модель досліджуваної ділянки, яка включає:

1. пішехідний перехід по вулиці Лермонтова у районі зупинки «Центральний ринок» із виділенням пішохідних зон;

2. перехрестя вулиць Лермонтова, Старовокзальної та проспекту Миру.

Головний рух – по вулиці Лермонтова. Регулювання пішохідного світлофору двофазне із тривалістю забороняючого сигналу у 89 с, зеленого

сигналу світлофору – 29 с. Тривалість зеленого сигналу транспортного світлофору – 43 с, забороняючого – 76 с.

По вулиці Лермонтова на перехресті з вулицею Старовокзальною встановлений транспортний світлофор із тривалістю зеленого сигналу у 44 с, й забороняючого сигналу – 74 с. Таким чином, бачимо незначну неузгодженість у тривалості сигналів транспортних світлофорів по вулиці Лермонтова.

При в'їзді до вулиці Старовокзальної встановлений транспортний світлофор із тривалістю червоного сигналу у 82с та зеленого сигналу у 27 с. На вулиці Лермонтова у бік вулиці Кобилянського транспортний світлофор із тривалістю зеленого сигналу у 44 с, а червоного – 64 с.

Моделювання циклограм світлофорів виконано за допомогою функції «Сигнальна програма» (*Signal Program*). Світлофорні об'єкти створені за допомогою мережевого об'єкта «Сигнальний пристрій» (*Signal Head*).

Дані по інтенсивності (*Vehicle Inputs*) та складу транспортних (*Vehicle Composition*) та пішохідних потоків відповідають результатам інтелектуального відеоаналізу руху в DataFromSky.

Для калібрування швидкості транспортних засобів у потоці використана функція розподілу бажаної швидкості (*Desired Speed Distribution*) для кожного вхідного потоку, побудована за даними *Traffic Analysis* (рис.3.9). Приклад такої функції показаний на рис.3.13.

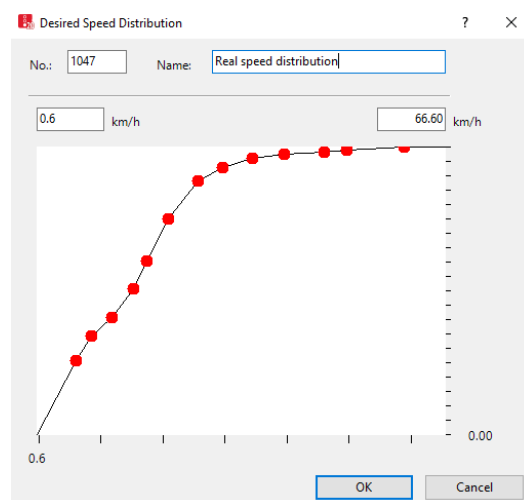


Рис.3.13. Функція *Desired Speed Distribution*.

Завдяки академічній ліцензії VISSIM маємо можливість моделювати пішохідні потоки із врахуванням фактичної годинної інтенсивності без обмежень кількості пішоходів в мережі до 30 осіб, як це відбувається у студентській версії програми.

Скриншот з симуляції руху показано на рис. 3.14.



Рис.3.14. Зображення сцени під час симуляції руху

3.7. Особливості розробки моделі альтернативи

У моделі альтернативи перевірялось рішення щодо налаштування пішохідного світлофору із зміною циклограми у відповідності до розрахунків, представлених у п.3.5.

Враховуючи результати розрахунків світлофornoї сигналізації, неузгодженість програм світлофорних об'єктів по вулиці Лермонтова, а також результати інтелектуального відеоаналізу пішохідного руху, встановлено, що використання розрахункової циклограми, коли до уваги фактично не приймається кількість пішоходів, що користуються переходом, є недоцільним.

Тому пропонується зменшити тривалість забороняючого сигналу пішохідного світлофору на 10% (з 86 с до 80 с), а зеленого – збільшити на 10% (з 29 с до 32 с).

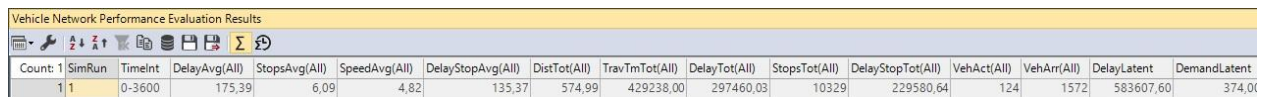
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РІШЕННЯ

4.1. Аналіз показників ефективності на основі базової імітаційної моделі

Показники ефективності (Measures of effectiveness) для досліджуваної ділянки виступали:

- середня довжина черги транспортних засобів;
- середній час у дорозі;
- середня затримка на перехресті;
- середня затримка від організації руху (average control delay –ACD)
- середня швидкість руху транспортних засобів.

Мережеві показники ефективності для базової моделі представлені на рис.4.1.



Count	SimRun	TimeInt	DelayAvg(All)	StopsAvg(All)	SpeedAvg(All)	DelayStopAvg(All)	DistTot(All)	TravTmTot(All)	DelayTot(All)	StopsTot(All)	DelayStopTot(All)	VehAct(All)	VehArr(All)	DelayLatent	DemandLatent
1	1	0-3600	175.39	6.09	4.82	135.37	574.99	429238.00	297460.03	10329	229580.64	124	1572	583607.60	374.0

Рис.4.1. Показники ефективності по мережі у цілому

Середня затримка на ділянці становила 175 с. Середня швидкість близька до затору у черзі, так званого явища «traffic jam», становила 4,8 м/с, що в 2 рази менше ніж за результатами інтелектуального відеоаналізу руху.

Середній час у дорозі знаходиться у діапазоні від 136 до 290 с в залежності від напрямку руху (рис.4.2).

Середня довжина черги коливається в межах від 13,7 м до 114 м (напрямок прямого руху по вулиці Лермонтова убік проспекту Миру).

За час виконання роботи, отримані чисельні підтвердження утворення черги на даному напрямку. Крім того, близько до пішохідного переходу виникають дорожньо-транспортні пригоди, пов'язані із зміною смуги руху (рис.4.4). У напрямку руху по вулиці Лермонтова убік вулиці Кобилянського нерідко спостерігаються затори у зв'язку із розворотом довгомірів (рис.4.5).

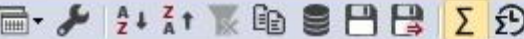
Vehicle Travel Time Results						
						
Count: 84	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
37	Average	0-3600	1	436	136,29	393,75
38	Average	0-3600	2	0		
39	Average	0-3600	3	0		
40	Average	0-3600	4	373	136,18	319,59
41	Average	0-3600	5	0		
42	Average	0-3600	6	0		
43	Average	0-3600	7	373	133,55	308,41
44	Average	0-3600	8	0		
45	Average	0-3600	9	0		
46	Average	0-3600	10	93	290,92	411,57
47	Average	0-3600	11	0		
48	Average	0-3600	12	0		

Рис.4.2. Середній час у дорозі ТЗ

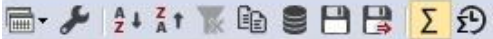
Queue Results						
						
Count: 32	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
11	3	0-3600	3	22,25	70,19	62
12	3	0-3600	4	2,67	40,61	13
13	4	0-3600	1	14,14	59,70	432
14	4	0-3600	2	125,76	142,20	819
15	4	0-3600	3	36,23	100,16	606
16	4	0-3600	4	64,76	168,40	377
17	Average	0-3600	1	13,75	61,68	338
18	Average	0-3600	2	114,39	140,29	668
19	Average	0-3600	3	36,76	96,39	520
20	Average	0-3600	4	69,54	136,47	346
21	Standa...	0-3600	1	1,36	7,39	186
22	Standa...	0-3600	2	22,15	3,83	364
23	Standa...	0-3600	3	10,39	17,82	309
24	Standa...	0-3600	4	48,51	63,91	229
25	Minim...	0-3600	1	11,74	52,06	59
26	Minim...	0-3600	2	81,17	134,56	123
27	Minim...	0-3600	3	22,25	70,19	62
28	Minim...	0-3600	4	2,67	40,61	13
29	Maxim...	0-3600	1	14,57	67,48	432
30	Maxim...	0-3600	2	125,76	142,21	864
31	Maxim...	0-3600	3	44,27	107,60	706
32	Maxim...	0-3600	4	105,36	168,44	497

Рис.4.3. Середня довжина черги ТЗ.

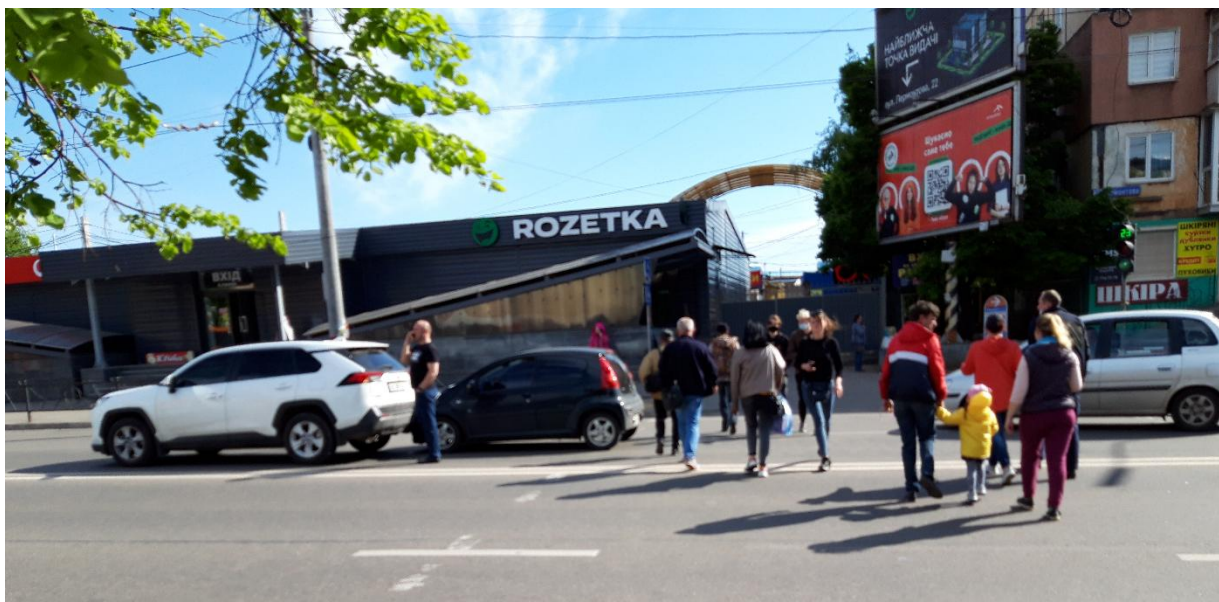


Рис.4.4. Дорожня-транспортна пригода на пішохідному переході



Рис.4.5. Затор, спричинений розворотом довгоміра.

4.2. Аналіз показників ефективності альтернативи

Агреговані показники по мережі для альтернативного рішення, показники часу у дорозі, довжини черги ТЗ представлені на рис. 4.6 – рис.4.8.

Count	SimRun	TimeInt	DelayAvg(All)	StopsAvg(All)	SpeedAvg(All)	DelayStopAvg(All)	DistTot(All)	TravTmTot(All)	DelayTot(All)	StopsTot(All)	DelayStopTot(All)	VehAct(All)	VehArr(All)	DelayLatent	DemandLatent
1	1	0-3600	175,39	6,09	4,82	135,37	574,99	429238,00	297460,03	10329	229580,64	124	1572	583607,60	374,00
2	2	0-3600	175,39	6,09	4,82	135,37	574,99	429238,00	297460,03	10329	229580,64	124	1572	583607,60	374,00
3	3	0-3600	63,18	2,99	7,91	42,48	77,17	35142,00	17880,13	845	12022,72	104	179	609,70	1,00
4	4	0-3600	158,93	5,59	5,17	122,98	580,53	404399,90	270821,03	9520	209559,50	111	1593	542281,50	366,00
5	5	0-3600	158,93	5,59	5,17	122,98	580,53	404399,90	270821,03	9520	209559,50	111	1593	542281,50	366,00
6	Average	0-3600	146,36	5,27	5,58	111,84	477,64	340483,56	230888,45	8109	178060,60	115	1302	450477,58	296,20
7	Stand...	0-3600	47,22	1,30	1,31	39,26	223,89	171142,31	119817,90	4081	93356,26	9	628	252331,25	165,07
8	Minim...	0-3600	63,18	2,99	4,82	42,48	77,17	35142,00	17880,13	845	12022,72	104	179	609,70	1,00
9	Maxim...	0-3600	175,39	6,09	7,91	135,37	580,53	429238,00	297460,03	10329	229580,64	124	1593	583607,60	374,00

Рис.4.6. Показники ефективності по мережі.

Count	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
49	Average	0-3600	1	483	137,46	393,75
50	Average	0-3600	2	0		
51	Average	0-3600	3	0		
52	Average	0-3600	4	413	136,89	319,59
53	Average	0-3600	5	0		
54	Average	0-3600	6	0		
55	Average	0-3600	7	413	134,27	308,41
56	Average	0-3600	8	0		
57	Average	0-3600	9	0		
58	Average	0-3600	10	104	298,37	411,57
59	Average	0-3600	11	0		

Рис.4.7. Середній час у дорозі

Count	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
10	3	0-3600	2	81,17	134,56	123
11	3	0-3600	3	22,25	70,19	62
12	3	0-3600	4	2,67	40,61	13
13	4	0-3600	1	14,14	59,70	432
14	4	0-3600	2	125,76	142,20	819
15	4	0-3600	3	36,23	100,16	606
16	4	0-3600	4	64,76	168,40	377
17	5	0-3600	1	14,14	59,70	432
18	5	0-3600	2	125,76	142,20	819
19	5	0-3600	3	36,23	100,16	606
20	5	0-3600	4	64,76	168,40	377
21	Average	0-3600	1	13,83	61,28	357
22	Average	0-3600	2	116,67	140,68	698
23	Average	0-3600	3	36,65	97,14	537
24	Average	0-3600	4	68,58	142,86	352

Рис.4.8. Середня довжина черги.

Як бачимо, змінення тривалості сигналів на пішохідному переході суттєво не впливатиме на основні показники ефективності руху.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано комплексне обстеження ділянки вулично-дорожньої мережі у місті Кривий Ріг по вулиці Лермонтова від зупинки «Центральний ринок» до перехрестя з вулицею Старовокзальна та вироблено рішення щодо покращення організації пішохідного руху.

1. Виконано огляд поведінкових моделей пішоходів та оцінено можливості їх використання для описання руху пішоходів на регульованих світлофором перехрестях. Визначено, що сучасним підходом до мікроскопічного моделювання пішохідних потоків є використання моделі соціальних сил, яка складається з великої кількості сил, які представляють різні фактори впливу. Сума всіх сил описує переміщення і напрям пішохода. Чисельні дослідження із використанням комп'ютерного моделювання поведінки у натовпі показали, що модель соціальних сил здатна реалістично описати самоорганізацію кількох спостережуваних колективних ефектів від поведінки пішоходів.

2. Проведено польові обстеження ділянки вулично-дорожньої мережі у місті Кривий Ріг по вулиці Лермонтова від зупинки «Центральний ринок» до перехрестя з вулицею Старовокзальна у вигляді двох повітряних відеозйомок руху за допомогою БПЛА у пікові години доби вихідного дня. Час обстеження обумовлений значною інтенсивністю пішохідних потоків у вихідні дні.

3. За результатами інтелектуального відеоаналізу руху на двох ділянках встановлено, що інтенсивність пішохідного руху в обох напрямках (убік та від Центрального ринку) порівняна та знаходиться на рівні 870 – 900 осіб/годину, а за період польових обстежень підземним переходом скористувалось 316 осіб, що складає 15% від загальної кількості пішоходів. Визначений склад транспортних потоків, OD-матриці та функції розподілу швидкостей руху, що слугували калібрувальними параметрами імітаційної моделі.

4. Встановлено, що розрахункова циклограма пішохідного руху не задовольняє умовам руху на ділянці. За результатами імітаційного

моделювання встановлено, що регулювання циклу пішохідного світлофору у бік збільшення тривалості зеленого сигналу на 10% суттєво не впливатиме на показники ефективності: середня затримка залишатиметься на рівні 175 с, середня довжина черги – від 13,7 м до 114 м, середній час у дорозі – від 136 до 290 с в залежності від напрямку руху.

5. Враховуючи результати проведеного дослідження, поточний стан організації руху, простій підйомнику для маломобільних груп населення у підземному пішохідному переході, необхідність синхронізації світлофорного регулювання по всій ділянці руху, рекомендовано:

- залишити наземний пішохідний перехід у якості основного для регулювання руху біля зупинки «Центральний ринок», а підземний перехід у якості альтернативи для переходу магістральної вулиці, у тому числі під час забороняючого сигналу світлофору;

- залишити цикл регулювання пішохідного регулювання руху рівним 118 с для синхронізації зі світлофорами на перехресті вулиць Лермонтова та Старовокзальної;

- збільшити тривалість зеленого сигналу та відповідно зменшити тривалість забороняючого сигналу пішохідного світлофору на 10%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. J. Wardrop, “Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proceedings”, Institution of Civil Engineers 11 no. 1, (1952) 325–378.
2. A. Schadschneider, W. Klingsch, H. KluËpfel, T. Kretz, C. Rogsch, and A. Seyfried, “Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications”, in Meyers [72], p. 3142. arXiv:0802.1620 [physics.soc-ph].
3. D. Helbing and P. Molnarr, “Social force model for pedestrian dynamics”, Phys. Rev. E 51 (1995) 4282–4286, arXiv:cond-mat/9805244 [cond-mat].
4. D. Helbing, I. Farkas, and T. Vicsek, “Simulating dynamical features of escape panic”, Nature 407 (2000) 487–490, arXiv:cond-mat/0009448 [cond-mat].
- 5 T. Werner and D. Helbing, “The Social Force Pedestrian Model Applied to Real Life Scenarios”, in Galea [68], pp. 17–26.
6. A. Johansson, D. Helbing, and P. Shukla, “Specification of the Social Force Pedestrian Model by Evolutionary Adjustment to Video Tracking Data”, Advances in Complex Systems 10 no. 4, (2007) 271–288, arXiv:0810.4587
7. D. Helbing and A. Johansson, “Pedestrian, Crowd and Evacuation Dynamics”, in Meyers [72], p. 6476.
8. M. Moussaid, N. Perozo, S. Garnier, D. Helbing, and G. Theraulaz, “The walking behaviour of pedestrian social groups and its impact on crowd dynamics”, PLoS One 5 no. 4, (2010).
9. W. Yu, R. Chen, L. Dong, and S. Dai, “Centrifugal force model for pedestrian dynamics”, Physical Review E 72 no. 2, (2005).
10. T. Lakoba, D. Kaup, and N. Finkelstein, “Modifications of the Helbing-Molnar-Farkas-Vicsek social force model for pedestrian evolution”, Simulation 81 no. 5, (2005) 339.
11. N. Pelechano, J. Allbeck, and N. Badler, “Controlling individual agents in high-density crowd simulation”, in Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 99–108. 2007.

12. PTV Planung Transport Verkehr AG, Stumpfstraße 1, D-76131 Karlsruhe, VISSIM 11 User Manual, 2020. <http://www.vissim.de/>.
13. B. Steffen, “A Modification of the Social Force Model by Foresight”, in Klingsch et. al. [70], pp. 677–682.
14. M. Chraibi, A. Seyfried, and A. Schadschneider, “Generalized centrifugal-force model for pedestrian dynamics”, Phys. Rev. E 82 no. 4, (Oct, 2010) 046111, arXiv:1008.4297 [physics.soc-ph].
15. Z. Zainuddin, M. Shuaib, and I. Abu-Sulyman, “The Characteristics of the Factors That Govern the Preferred Force in the Social Force Model of Pedestrian Movement”, Engineering and Technology (2010)
16. T. Kretz, G. Mayer, and A. MuEhlberger, “Behaviour and Perception-based Pedestrian Evacuation Simulation”, in Peacock et. al. [73], pp. 827–832.
17. D. Helbing, “Derivation of a fundamental diagram for urban traffic flow”, The European Physical Journal
18. Електронний ресурс: <https://datafromsky.com/applications/traffic-counting/>
19. Методичні вказівки до виконання практичних робіт та самостійної роботи студентів з дисципліни «Технічні засоби організації дорожнього руху» (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.070101 – Транспортні технології (за видами транспорту)) / Харків. нац. ун–т міськ. госп–ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. О. Лобашов, І. С. Бугайов. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 42 с.