

УДК 656.11

№ держ. реєстрації 0123U104151

Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)
61002, м. Харків-02, вул. Ярослава Мудрого, 25
тел. (057) 707-37-06

ЗАТВЕРДЖУЮ

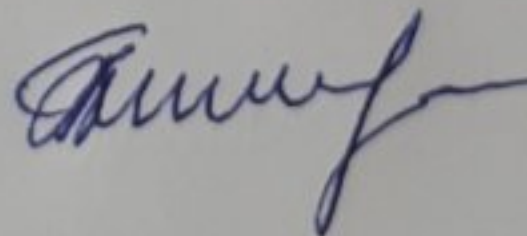
Проректор з наукової роботи
д-р економ. наук, проф.


Олесь ДМИТРІВ

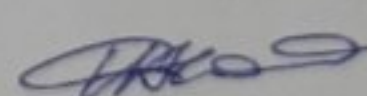
ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ
БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Декан факультету транспортних систем,
канд. економ. наук, проф.

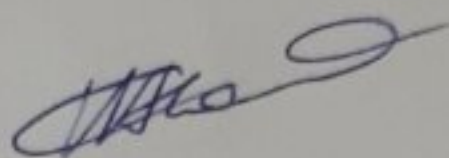

Юрій БЕКЕТОВ

Зав. кафедрою організації та безпеки дорожнього руху,
д-р техн. наук, проф.


Іван НАГЛЮК

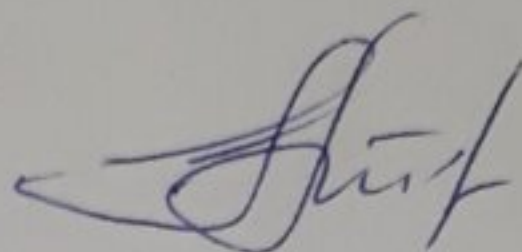
СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР
зав. кафедри ОіБДР
д-р техн. наук, професор



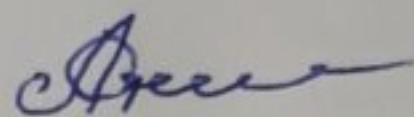
Іван Наглюк
(розділ 1, загальне
редагування)

Д-р техн. наук, професор



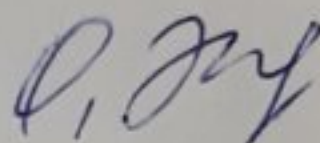
Людмила Абрамова
(розділ 5)

Д-р техн. наук, професор



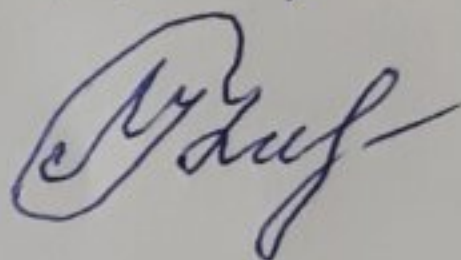
Олексій Степанов
(розділ 10)

Канд. техн. наук, доцент



Ольга Холодова
(розділ 2)

Канд. техн. наук, доцент



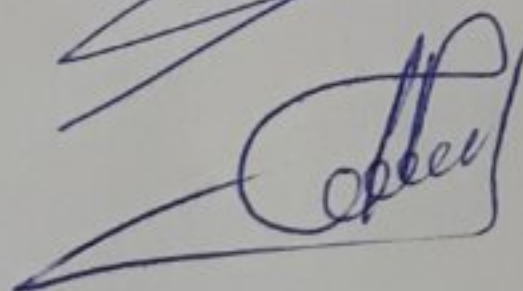
Олена Запорожцева
(розділ 4)

Канд. техн. наук, доцент



Валерій Ширін
(розділ 6)

Канд. техн. наук, доцент



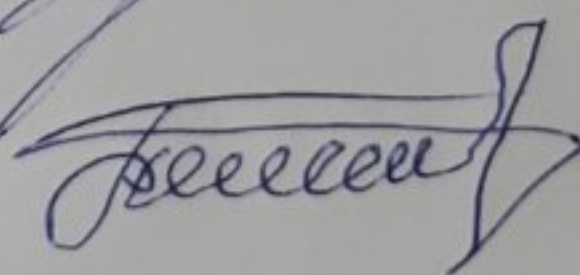
Геннадій Птиця
(розділ 7)

Канд. техн. наук, доцент



Сергій Капінус
(розділ 8)

Канд. техн. наук, доцент



Анатолій Бажинов
(розділ 9)

Канд. техн. наук, доцент



Олександр Рябушенко
(розділ 11)

Ст. викл.



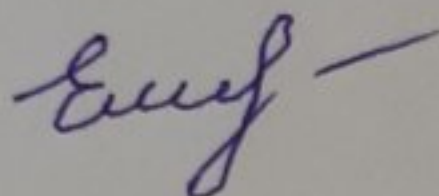
Марина Бугайова
(розділ 13)

Ст. викл.



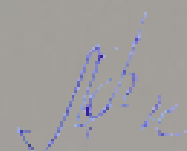
Дмитро Засядько
(реферат, вступ, розділ 3,
висновки, верстка)

Ст. викл.



Олена Левченко
(розділ 12)

Відділ акредитації, стандартизації
та якості навчання



Лада Чернова

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 169 с., 55 рисунків, 32 таблиці, 130 джерел.

ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНА ПРИГОДА,
ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА, ШВИДКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ,
ПОКАЗНИКИ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ЗАХОДИ З ОРГАНІЗАЦІЇ
ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ВЕЛОСИПЕДНИЙ РУХ

Об'єкт дослідження — процес руху транспортних засобів та пішоходів у транспортних системах міст та на замських дорогах загального користування.

Розглянуто шляхи вирішення питання підвищення безпеки на дорогах, досліджено зміни обсягів транспортного екологічного навантаження на прикладі м. Харків. Розглянуто питання доцільності визначення параметрів руху та використання штучного інтелекту для управління рухом у великих містах із урахуванням динаміки транспортних потоків. Наданий опис практичної реалізації контурного управління рухом на вулично-дорожній мережі м. Харків. Визначена оцінка впливу елементів дорожньої та пішохідної інфраструктури на ефективність функціонування перехресть.

Мета роботи — підвищення безпеки руху на підставі дослідження закономірностей дорожнього руху у містах, на замських дорогах та окремих складних елементах транспортної інфраструктури.

Методи дослідження — математичне та імітаційне моделювання руху транспортних та пішохідних потоків, аналіз показників безпеки, ймовірнісні методи визначення ризиків виникнення ДТП та законів розподілу параметрів руху транспортних потоків.

Проведено аналіз транспортної та соціальної безпеки дорожнього руху в Україні та за кордоном. Надані результати щодо підвищення безпеки дорожнього руху, визначені перспективні заходи з організації дорожнього руху, які впливають на безпеку дорожнього руху та підвищення його ефективності.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналіз існуючих методів визначення безпеки дорожнього руху	8
2 Дослідження впливу організації дорожнього руху на екологічну безпеку елементів вулично-дорожньої мережі	16
3 Методи отримання матриць транспортних кореспонденцій у містах	40
3.1 Моделювання транспортної мережі	41
3.2 Існуючі методи отримання матриці кореспонденцій	42
3.3 Залежність величини кореспонденції від типів транспортних районів	43
3.4 Залежність величини кореспонденції від відстані між транспортними районами	45
3.5 Послідовність розрахунку матриці кореспонденцій	46
4 Нова парадигма в організації дорожнього руху в містах	50
5 Формалізація контурного управління транспортними потоками у містах	56
6 Оцінка якості проектів організації дорожнього руху	66
7 Підхід до побудови системи керування рухом на елементах вулично-дорожньої мережі міста	78
7.1 Вибір критерію і методів кількісної оцінки ефективності рішень з ОДР	79
7.2 Методика експерименту визначення пропускної здатності зупинок	84
7.3 Розрахунок пропускної здатності зупинкових пунктів	89
8 Моделювання розподілу транспортних потоків при критичних ситуаціях на вулично-дорожній мережі	92
9 Методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків автомобільними дорогами	102
9.1 Показники аварійності, що необхідні для оцінки рівнів безпеки руху	104
9.2 Метод оцінки рівнів безпеки руху з урахуванням можливого ресурсного забезпечення	108
10 Розвиток інтелектуальних технологій в організації дорожнього руху	111

11 Дослідження впливу швидкості руху транспортного засобу на тяжкість наслідків ДТП	115
11.1 Аналіз стану питання за темою дослідження	115
11.2 Методи встановлення швидкості руху транспортного засобу при виникненні ДТП	116
11.3 Дослідження швидкостей транспортних засобів, що потрапили в ДТП в м. Харкові	118
12 Використання штучного інтелекту в організації дорожнього руху	133
13. Оцінка ефективності застосування методів каналізування руху на вулично-дорожній мережі міста	138
Висновки	152
Перелік посилань	157

ВСТУП

Транспорт, зокрема автомобільний, є найважливішою структурною складовою економіки країни. Транспортні системи потребують постійного розвитку та вдосконалення. При цьому зі зростанням автомобілізації населення виникають нові транспортні проблеми, які впливають на безпеку дорожнього руху та засоби організації і управління. Україна спрямована на інтеграцію до європейського суспільства, що підкреслює актуальність досліджень.

Саме на вирішення проблем транспортних систем міст та дорожнього руху спрямовані науково-дослідні роботи кафедри організації і безпеки дорожнього руху ХНАДУ.

У даному звіті наведені результати НДР за такими напрямками:

- удосконалення методів організації дорожнього руху;
- визначення параметрів вулично-дорожніх мереж великих та значних міст;
- формування систем паркінгів та удосконалення організації дорожнього руху у центральних частинах великих міст;
- удосконалення алгоритмів управління дорожнім рухом у містах;
- розробка моделей параметрів транспортних потоків;
- шляхи застосування даних від глобальних навігаційних супутникових систем та відеодетекторів транспорту для підвищення безпеки дорожнього руху;
- вплив швидкісного режиму на показники якості дорожнього руху;
- визначення ризику виникнення ДТП на дорогах загального призначення.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Дорожній рух (ДР) — це складна динамічна система з великою кількістю внутрішніх елементів, надійність яких формує надійність всієї системи [1, 2].

Розв'язання проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР) відноситься сьогодні до найбільш пріоритетних завдань розвитку країни. Найдієвішим підходом для вирішення проблеми забезпечення безпеки є максимізація ефективності використання матеріальних ресурсів, які є обмеженими, для підвищення рівня безпеки дорожнього руху. Це реалізується лише через наукову оцінку та аналіз аварійності на автомобільних дорогах, що необхідно для виявлення найнебезпечніших місць та основних причин виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Тоді на підставі результатів аналізу можливо доволі швидко і якісно сформулювати керувальний вплив, спрямований на підвищення безпеки дорожнього руху [3-6].

Безпека дорожнього руху — це характеристика дорожнього руху, обумовлена аварійністю (ДСТУ 2935:2018 [7, 8]). Однак, дане визначення має деяку обмеженість, оскільки термін «аварійність» у визначенні припускає наявність пригод, що саме по собі суперечить безпечному руху.

Для визначення коефіцієнтів аварійності на різних етапах проведення аудиту БДР пропонуємо застосовувати методи, відповідно до розробленої класифікації [1 - 5], де розглядають 5 груп методів.

Перша група — це методи, засновані на обробці статистичних даних про ДТП. Методи визначення абсолютних показників аварійності, що характеризують ступінь небезпеки ділянки дороги в залежності від кількості пригод та кількості постраждалих за певний проміжок часу.

Друга — це методи, засновані на визначенні параметрів умов руху.

Третя — це методи, засновані на аналізі конфліктних ситуацій.

Четверта — це методи, засновані на оцінці поведінки водія.

П'ята — група це методи, засновані на комплексному підході до оцінки БДР, що включає в себе кваліметрічний метод і аналіз аварійності з урахуванням макроскопічних показників регіону.

Для отримання порівнянних даних при аналізі результатів ДТП, застосовують систему відносних показників безпеки (коефіцієнти відносної аварійності або коефіцієнти пригод) [9, 10]:

$$K_a = \frac{\sum N_{\text{ДТП}}}{\sum L}, \quad (1.1)$$

де $\sum N_{\text{ДТП}}$ - кількість ДТП за період;

$\sum L$ - сумарний пробіг транспортних засобів за цей же період, км.

Для врахування впливу середньодобової інтенсивності руху транспортних засобів N (авт./добу) на аварійність впродовж року на ділянці дороги довжиною l км, застосовують показник відносної аварійності, що вимірюється кількістю ДТП на 1 млн. км пробігу [1, 5]:

$$K_a = \frac{10^6 \cdot \sum N_{\text{ДТП}}}{365 \cdot N \cdot L}. \quad (1.2)$$

Оцінювання безпеки дорожнього руху на коротких ділянках (мости, перетини доріг, звуження проїзної частини) враховує у формулі визначення коефіцієнта відносної аварійності, і визначається як кількість ДТП на 1 млн. автомобілів, що пройшли через цю ділянку:

$$K_a = \frac{10^6 \cdot \sum N_{\text{ДТП}}}{365 \cdot N}. \quad (1.3)$$

У зв'язку з різним ступенем тяжкості наслідків ДТП для порівняльної оцінки та аналізу різних ДТП застосовують коефіцієнт тяжкості ДТП (k_T), який визначається як відношення кількості загиблих до кількості постраждалих за певний період часу:

$$k_T = \frac{\sum n_y}{\sum n_p}. \quad (1.4)$$

Коефіцієнти, що визначаються за цими формулами, можуть бути використані для первинної обробки статистичних даних аварійності окремих ділянок. При аналізі відносної небезпеки руху для отримання надійної оцінки безпеки руху необхідно мати статистичні дані по аварійності за 3-5 років. Треба зазначити, що наведені методи не мають достатнього зв'язку з конкретними дорожніми умовами. Це ускладнює розробку заходів, спрямованих на усунення місць концентрації ДТП, а також не дають можливості прогнозувати стан безпеки.

У другу групу виділено методи, які враховують умови руху транспортних потоків і дорожні умови. При цьому, для оцінки відносної небезпеки руху по дорогах, застосовують метод коефіцієнтів безпеки, заснований на аналізі графіка зміни швидкостей руху по дорозі і метод коефіцієнтів аварійності, заснований на аналізі даних статистики ДТП.

Коефіцієнтом безпеки називають відношення максимальної швидкості руху на ділянці до максимальної швидкості в'їзду автомобілів на цю ділянку (початкова швидкість руху) [1, 5]

$$K_{\text{без}} = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{вх}}}. \quad (1.5)$$

Однак, метод коефіцієнтів безпеки оцінює режим руху одиночних автомобілів, що характерно для умов руху на дорогах з малою інтенсивністю або в між пікові години руху на більш завантажених дорогах. У методі також не враховуються загальні обмеження швидкості руху згідно з Правилами дорожнього руху [11] та

місцеві обмеження швидкості (в населених пунктах, на залізничних переїздах, перед примиканнями другорядних доріг, на кривих малих радіусів, в зонах дії дорожніх знаків та ін.). Метод коефіцієнтів аварійності має значення при прогнозуванні і заснований на визначенні підсумкового коефіцієнта аварійності

$$K_{\text{під}} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1.6)$$

де $K_{\text{під}}$ - підсумковий коефіцієнт аварійності;

K_i - частковий коефіцієнт аварійності;

n - число часткових коефіцієнтів аварійності.

$$K_i = \frac{N_i}{N_{\text{ет}}}, \quad (1.7)$$

де N_i - кількість ДТП на ділянці дороги, яка сталася внаслідок зміни i -го елемента дороги;

$N_{\text{ет}}$ - кількість ДТП на еталонній горизонтальній ділянці дороги з шириною проїзної частини 7,5 м, жорстким покриттям і укріпленими узбіччями шириною 3,5 м.

Аналогічний підхід застосовують європейські та американські вчені, які пропонують оцінювати безпеку дорожнього руху по «коефіцієнту інфраструктури», який є аналогом підсумкового коефіцієнта аварійності в нашій країні [12].

Однак даний метод має ряд недоліків:

- коефіцієнти аварійності не дозволяють враховувати усі недоліки в параметрах дорожніх умов і методах організації руху;
- підсумковий коефіцієнт аварійності втрачає фактичний сенс при значному його збільшенні (понад 100);
- оцінювання та визначення багатьох параметрів умов руху вимагають великих витрат часу і людської праці;

- фахівці дорожніх організацій можуть оцінювати різні умови руху на інженерно-інтуїтивному рівні, оскільки в методиці даються лише деякі проміжні значення в діапазоні зміни параметрів дорожніх умов, вибір яких здійснює дослідник.

До третьої групи відноситься метод «конфліктних ситуацій» (КС).

Метод КС застосовується при розробці проектів реконструкції складних ділянок доріг. Під КС розуміється дорожньо-транспортна ситуація, що виникає між учасниками дорожнього руху або рухомим автомобілем і обстановкою на дорозі, при якій виникає небезпека ДТП [5, 13]. Для застосування методу КС необхідні дані про режими руху автотransпортних засобів, які можуть бути отримані за допомогою автомобілів-лабораторій.

Показником наявності КС є зміна швидкості або траєкторії руху автомобіля. Ступінь небезпеки цієї ситуації характеризується небажаними поздовжніми і поперечними прискореннями, які виникають при маневрах автомобілів. Число конфліктних ситуацій кожного типу визначається методом спостережень при реконструкції доріг, а при будівництві нових доріг — методами математичного моделювання. Кількість конфліктних ситуацій, приведених до критичної, можна визначити залежністю [1, 5]

$$K_{\text{КС}} = 0,44 \cdot K_1 + 0,83 \cdot K_2 + K_3, \quad (1.8)$$

де K_1 - кількість легких конфліктних ситуацій на ділянці в 1 км в 1 год;

K_2 - кількість середніх ситуацій;

K_3 - кількість критичних ситуацій за період спостережень, рівний 1 год.

Недолік цього методу полягає в тому, що враховується кількість лише теоретично можливих контактів незалежно від фактичних параметрів транспортних потоків та їх розподілу за типом маневрів [14]. Крім того, не враховуються контакти і конфлікти між транспортом і пішоходами, тип і стан покриття проїзної частини, наявність конфліктів в попутному напрямку руху транспортних засобів.

Четверта група. У цьому випадку дослідження безпеки руху проводяться на основі аналізу відхилень від нормальної дорожньої поведінки учасників руху.

Безпечна поведінка учасників дорожнього руху характеризується відсутністю не дорожньо-транспортної аварійності, а закономірно небезпечних умов і вчинків, що призводять до дорожньо-транспортної пригоди. Критерій відсутності аварійності не виключає наявність небезпеки в поведінці учасників руху і в умовах руху. Як показники безпеки руху застосовують кількість транспортних конфліктів та порушень правил дорожнього руху учасниками, а дорожня поведінка учасників руху розглядається як системна характеристика безпеки дорожнього руху [15].

Також до цього класу належить метод тестування, що полягає у встановленні ступеня небезпеки умов руху за показниками взаємодії системи «людина - автомобіль» та її компонентів з дорожніми умовами в процесі руху по дорозі. Як показники взаємодії застосовують ймовірність підтримки заданої швидкості руху, характеристики функціонального стану організму водія, швидкоплинність процесів управління та характеристики маневреності автомобіля. Ймовірність тримання заданої швидкості встановлюється пробними проїздами ходової лабораторії за маршрутом при відсутності руху і в години пік. Задана швидкість приймається рівною 80 км/год [5]. Для оцінки функціонального стану організму водія в процесі пробних проїздів здійснюється безперервна реєстрація частоти серцевих скорочень і частоти дихання. Подальша обробка результатів реєстрації дозволяє оцінити найпростіші характеристики функціонального стану водія: відносний зсув частоти серцебиття; енергетична вартість руху. Відносний зсув частоти серцебиття F оцінюють за формулою

$$F = \frac{f - f_0}{f} \cdot 100, \quad (1.9)$$

де f , f_0 - відповідно частоти серцебиття при русі і в стані спокою, уд. / хв.

Енергетична вартість (ккал / хв) руху визначається за формулою

$$E = 0,0075 \cdot (C - C_0) \cdot S, \quad (1.10)$$

де C , C_0 - відповідно частоти дихання при русі і в стані спокою, циклів/ хв;

S - площа тіла водія, m^2 .

До п'ятої групи можна віднести методи, засновані на комплексному підході до оцінки безпеки дорожнього руху. Проф. Поліщук В. П. [16, 17] у своїх дослідженнях поряд з аналізом аварійності для визначення виду управляючих впливів та черговості їх реалізації запропонував враховувати макроекономічні показники територіальної одиниці, до якої відноситься розглянута ділянка дороги. Це дозволяє на різних рівнях управління (державному, обласному, районному) проводити планування витрат бюджетних коштів, необхідних для підвищення безпеки дорожнього руху.

Таким чином, аналіз відомих методів оцінки безпеки руху показав, що найбільш простими і надійними є методи, засновані на обробці статистичних даних про дорожньо-транспортні пригоди. Загальним недоліком цих методів є складність їх застосування для оцінки проєктованих доріг, вулиць. Методи, засновані на аналізі взаємних контактів транспортних потоків, враховують кількість теоретично можливих контактів незалежно від режиму руху транспортних потоків і наявності пішоходів. Формулювання понять «конфлікт», «конфліктна ситуація», «конфліктна точка» носять суб'єктивний характер і вимагають доопрацювання. Для вирішення питань цілеспрямованого впливу на дорожні умови з усіх існуючих методів виявлення аварійно-небезпечних ділянок доріг, пріоритет мають методи, які враховують вплив різних чинників на безпеку дорожнього руху. Найповнішим за числом проаналізованих факторів та за статистичною забезпеченістю є метод підсумкових коефіцієнтів аварійності, але він має ряд обмежень для практичних завдань. Тому, зважаючи на його трудомісткість і неоднозначності у виборі значень часткових коефіцієнтів аварійності, він потребує удосконалення.

Для практичного застосування цього методу необхідні аналітичні моделі визначення рівня безпеки руху від параметрів дорожніх умов і транспортних потоків. Але при перемножуванні великої кількості імовірнісних показників ймовірність помилки зростає в багато разів. При цьому, визначення безлічі параметрів умов руху (згідно [5] маємо 18 часткових коефіцієнтів аварійності), а саме $K_{\text{під}} = \prod_{i=1}^{18} K_i$ вимагає великих значних витрат часу та людської праці на їх визначення. Також розроблена

методика [18] визначення підсумкового коефіцієнта аварійності ($K_{\text{під}}$) шляхом редукції часткових коефіцієнтів (K_i), отримані стійкі результати з точністю 10 % при застосуванні 8 коефіцієнтів аварійності. Проведення редукції було засновано на виділенні латентних факторів умов руху, які визначаються за результатами формування кластерів часткових коефіцієнтів аварійності за ознакою їх однорідності.

Профілактиці дорожньо-транспортних пригод приділяється багато уваги в Україні та закордоном. Багатьма вченими робились спроби встановлення залежності між кількістю дорожніх пригод зі смертельним наслідком, кількістю автомобілів у державі та кількістю мешканців [17-19]

$$D = K \cdot \sqrt[3]{N \cdot P^2}, \quad (1.11)$$

де D – кількість ДТП зі смертельним наслідком;

K – постійний коефіцієнт ($3 \cdot 10^{-4}$);

N – кількість автомобілів в державі;

P – кількість мешканців в державі.

У роботі Шаши І. К. приводиться залежність, яка враховує комплекс критеріїв безпеки [19]

$$D = K_B \cdot \sqrt[3]{10^{-12} \cdot N \cdot P^2}, \quad (1.12)$$

де $K_B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots K_n$ – узагальнений підсумковий коефіцієнт безпеки;

$K_1, K_2, K_3 \dots K_n$ – часткові коефіцієнти безпеки.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ЕЛЕМЕНТІВ ВУЛИЧНО- ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

У наш час кількість автомобілів у всьому світі невпинно зростає, а вони є найбільшими забруднювачами атмосферного повітря в містах. Саме викиди автотранспорту становлять 70-85 % від загальних обсягів викидів у повітря. При цьому аж чверть всіх автомобілів в Україні — це старі моделі, що не відповідають жодним екологічним нормам. До того ж, на тих вулицях міст, де щодня спостерігається скупчення транспортних засобів (ТЗ), концентрація токсинів у повітрі перевищує допустиму в 3-4 рази [20]. Перехрестя – найбільш небезпечні елементи вулично-дорожньої мережі (ВДМ), на яких відбувається за статистикою найбільша кількість ДТП, і чимало з них провокуються не лише недбалістю водіїв, а й недосконалою організацією дорожнього руху (ОДР), яка впливає також і на збільшення транспортних затримок, утворення заторів, що, в свою чергу, викликає зниження швидкості пересування і невиправдану перевитрату палива. Постійні затори перед перехрестями, часті зупинки, гальмування і набирання швидкості є причинами підвищеного забруднення повітряного басейну міста і транспортного шуму.

Актуальність проблеми зменшення негативного впливу автотранспорту на навколишнє середовище потребує широкомасштабних комплексних заходів: зменшення токсичності викидів від кожного окремого ТЗ шляхом удосконалення окремих агрегатів та використання більш безпечних видів палива; зниження концентрації шкідливих речовин (ШР) в атмосферному повітрі за рахунок раціонального планування та забудови придорожніх територій, газозахисних споруд та озеленення; зменшення обсягів викидів від потоків автотранспорту на магістралях шляхом удосконалення транспортно-планувальних характеристик ВДМ та покращення ОДР [21].

У зв'язку із специфічними умовами руху на транспортних розв'язках (зниження швидкості перед поворотом праворуч або ліворуч через пропускання зустрічних

транспортних потоків (ТП) або пішоходів, виконання власне повороту тощо), саме ці ділянки є найбільш небезпечними для учасників руху та зменшують пропускну спроможність дороги в цілому, що негативно позначається не лише на експлуатаційних показниках роботи автомобільного транспорту, а і на екологічній безпеці перехрестя.

Сьогодні в Україні багато уваги привертається до розробки довгострокових планів розвитку ВДМ з врахуванням зростання кількості мешканців міст та змін транспортної ситуації. З'являються на дорогах ділянки, які все більше відповідають сучасним вимогам, що в свою чергу дозволяє вирішити проблеми дорожнього руху - забезпечити комфортне та безпечне пересування всіх його учасників.

Але при цьому, нажаль, не завжди враховується рівень забруднення навколишнього середовища в зонах впровадження відповідних заходів з ОДР. Багато перехресть в містах працюють понад свої можливості і створюють довгі черги з автомобілів, хоча на них вже впроваджені деякі вдосконалення, які довели свою ефективність - ефективність в плані поліпшення ситуації з ДТП та затримками руху ТЗ, а не стосовно екологічної безпеки елементів ВДМ.

Метою дослідження є обумовлення вибору такої методики, яка б дозволяла оцінювати вплив ОДР на екологічну безпеку елементів ВДМ.

Склад і кількість ШР, що викидаються в атмосферу залежать від типу двигуна і його технічного стану, типу палива, параметрів дорожнього руху, умов експлуатації ТЗ, а також від технічного стану доріг. Тільки в комплексному вивченні цих факторів можна одержати науково обґрунтоване вирішення цієї проблеми. Одними з основних напрямків зниження рівня забруднення навколишнього середовища від автотранспорту є: модернізація та вдосконалення ВДМ, будівництво нових транспортних розв'язок (в тому числі в різних рівнях), створення окремих магістралей і шляхопроводів для руху пасажирського та вантажного транспорту, організація раціональної схеми маршрутів руху пасажирських та вантажних потоків магістралями міста, створення оптимальних систем управління рухом транспорту, розширення автоматизованих систем управління дорожнім рухом тощо. При

впровадженні нових схем ОДР на ВДМ слід завжди оцінювати їх вплив на стан навколишнього середовища.

Існує багато варіантів розрахунку розмірів викидів ШР. Оцінка стану повітряного басейну в населених пунктах проводиться шляхом порівняння реальних концентрацій з гранично допустимими. Але все зводиться тільки до оцінки рівня забруднення навколишнього середовища. Подальший чіткий механізм зменшення екологічного навантаження, шляхом впровадження необхідних заходів, відсутній [22]. Методи прогнозування і моделювання процесу забруднення повітря міста поки відстають від розрахункових методів визначення концентрацій шкідливих викидів стаціонарних джерел. Тому основна увага спеціалістів направлена на створення і удосконалення моделей для розрахунку приземних концентрацій ШР, які враховують вплив різних факторів на характер дисперсії цих речовин в умовах примігстральної забудови. Оскільки кожний метод розрахунку включає в себе різні параметри слід приділяти увагу розробці більш точної універсальної методики розрахунку.

В області розробки більш ефективних методів спостереження і належного контролю за викидами відпрацьованих газів і величинами інтенсивності дорожнього руху, особливо у великих містах України, ведуться дослідження в напрямку розробки відповідної мережі спостереження, яка забезпечить отримання необхідних результатів і допоможе швидко провести належні заходи з ОДР на небезпечних з точки зору екології ділянках ВДМ. Але розроблені системи спостереження не досліджують екологічні та технічні характеристики схем ОДР безпосередньо у відповідних місцях на різноманітних ділянках ВДМ, враховуючи забудову навколо [23].

Велика увага приділяється і комплексним схемам ОДР та встановленню функціональних залежностей рівня екологічних характеристик від технічних схем ОДР. Але усі дослідження рівня екологічних характеристик зводяться до того, що враховуючи циклічний характер руху автомобілів в містах, що пов'язано з зупинками перед перехрестями та послідовним розгоном, в імітаційній моделі проводяться по їздовому циклу [24].

Найбільш несприятливі режими роботи двигунів ТЗ із позиції токсичної характеристики є режими прискорення, уповільнення та холостого ходу. Тому наявність засобів регулювання дорожнього руху на міських магістралях, ефективно вирішуючи проблему забезпечення безпеки руху з одного боку, призводить до підвищення викидів ШР з іншого [25].

Відомі різні методики визначення викидів ШР в залежності від параметрів дорожнього руху. В методиці визначення викидів ШР в залежності від складу та інтенсивності ТП усі показники для розрахунків викидів ШР можна визначити за допомогою натурних спостережень. І хоча це призводить до збільшення часу на дослідження, але отримані результати будуть більш точні, тому що використовуються реальні дані по об'єкту дослідження [26]. Методика визначення викидів ШР в залежності від швидкості ТП, широко розповсюджена в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (ХНАДУ), виконується в лабораторних умовах, тому, нажаль, не має можливості враховувати реальну ОДР на ділянках ВДМ [27]. Можна визначати викиди в залежності і від затримок руху ТЗ на різних елементах ВДМ з урахуванням ОДР на них. Але усі наведені вище методики не спроможні в комплексі зменшити екологічне навантаження на небезпечних з точки зору екології ділянках ВДМ, шляхом впровадження належних заходів з ОДР.

За програмою «Gaussian Dispersion Model Calculator» та методикою ОНД-86 [28] можна розраховувати інтенсивності забруднення однією з ШР в зоні перехрестя при заборонному сигналі світлофора. Але ця методика підходить для регульованих перехресть, тому не може бути використана як універсальна для різних методів ОДР.

Запропонована в ХНАДУ методика розрахунку рівня забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автомобілів надає можливість визначати концентрації ШР [29]. На відміну від раніше розглянутих методик ця враховує склад, інтенсивність та швидкість ТП, а також варіант ОДР, закладений у відповідному коефіцієнті (регульоване, саморегульоване, нерегульоване перехрестя, залізничний переїзд, розв'язка в різних рівнях тощо). Але нажаль не враховує, наприклад, різні схеми пофазного роз'їзду на перетинанні, або заборону маневрів на перехресті тощо.

Є ще ряд поширених методик, які визначають рівень викидів ШР. Це програма, розроблена Агентством з охорони навколишнього середовища США MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator), яка моделює різні види викидів ШР від автомобілів [30]. Але вона має обмежену географічну область застосування, оскільки розроблена для використання в США та не може бути безпосередньо застосована в інших країнах з різними умовами дорожнього руху та специфічними факторами забруднення повітря. Європейська модель COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport), яка оцінює викиди ШР від дорожнього транспорту [31] також зорієнтована на країни Європейського Союзу, тому може бути менш точною для інших країн, та не враховує вплив такого фактору як затори на дорогах, які безпосередньо впливають на розмір викидів ШР від транспорту. Методика вимірювання викидів ШР від легкових автомобілів та легких комерційних ТЗ WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) може не враховувати всі особливості роботи двигуна в реальних умовах експлуатації ТЗ, що може призвести до неточних результатів. Програмне забезпечення, що використовується в Каліфорнії для розрахунку викидів від ТП зосновано на методиці CT-EMFAC (California Transportation-Related Emission Factors Model) [13] враховує такі фактори як типи ТЗ, їх характеристики, розміри ТП та різні умови дорожнього руху. Але також має обмежену застосованість та низьку точність. Методика розрахунку викидів ШР від транспорту EMEP/EEA Guidebook [32] широко розповсюджена в Європі та базується на даних про витрати палива, типи транспорту, використання доріг та інші фактори. На жаль, не враховує особливості дорожнього руху: затори, рівень трафіку, характер маршрутів тощо.

В сучасних умовах завдяки постійно зростаючим можливостям обчислювальної техніки, програмне забезпечення для розробки різних типів транспортних моделей розвивається швидкими темпами. Спеціалізовані пакети транспортного планування (Emme-3, OmniTrans, Transims, Cube, AIMSUN, TransCAD + Transmodeler, Paramics і S-Paramics, PTV VISSIM, AnyLogic) мають можливість надавати кількісну оцінку основних параметрів транспортного процесу. Одним із більш затребуваних, а також необхідних для визначення екологічних характеристик елементів ВДМ є PTV VISSIM – багатоцільовий пакет для моделювання ТП на

мікрорівні, який вважають ідеальним інструментом для муніципальних і транспортних органів, які працюють над зниженням викидів і дотриманням екологічних норм [33]. PTV VISSIM дозволяє здійснити якісне моделювання дорожнього руху, спрямоване на підвищення ефективності та безпеки руху, а це, в свою чергу, дозволяє знизити вплив автотранспорту на навколишнє середовище. Серед екологічних характеристик, які розраховуються в PTV VISSIM кількість монооксиду вуглецю на один ТЗ, кількість монооксидів азоту, кількість летючих органічних з'єднань, витрати палива.

Таким чином, імітаційна мікромодель дозволяє більш детально відображати існуючу транспортну ситуацію та аналізувати доцільність вибору того чи іншого способу ОДР; проектувати, тестувати й оцінювати вплив режиму роботи світлофора на характер ТП; оцінювати транспортну та екологічну ефективність запропонованих заходів тощо. До того ж, застосування програмного продукту PTV VISSIM дозволяє обійти трудомісткі розрахунки щодо розмірів викидів ШР в залежності від схем ОДР.

Для апробації методики визначення рівня забруднення повітря на ВДМ міста в залежності від ОДР (проф. Шаповалова А. Л., ХНАДУ) були обрані ділянки вулиць Слобідського, Індустріального та Київського районів м. Харків, а саме просп. Героїв Сталінграду – від просп. Гагаріна до вул. Морозова, просп. Олександрівський – від просп. Індустріальний до вул. 12 Квітня та вул. Сумська – від майдану Конституції до вул. Скрипника (рис. 2.1).

Далі ділянки розподілялись на зони в залежності від типу ОДР: просп. Героїв Сталінграду на 17 зон, просп. Олександрівський та вул. Сумська на 6 зон (див. рис. 2.2).

Головною проблемою ділянки по просп. Героїв Сталінграду є велика кількість як нерегульованих так і регульованих наземних пішохідних переходів, що призводить до проїзду в години “пік” даної ділянки з невстановленими швидкостями. Проблема ділянки по просп. Олександрівський полягає у відсутності організованого пішохідного переходу в районі супермаркету, де щільна житлова забудова обумовлює значні пішохідні потоки через проїзну частину.

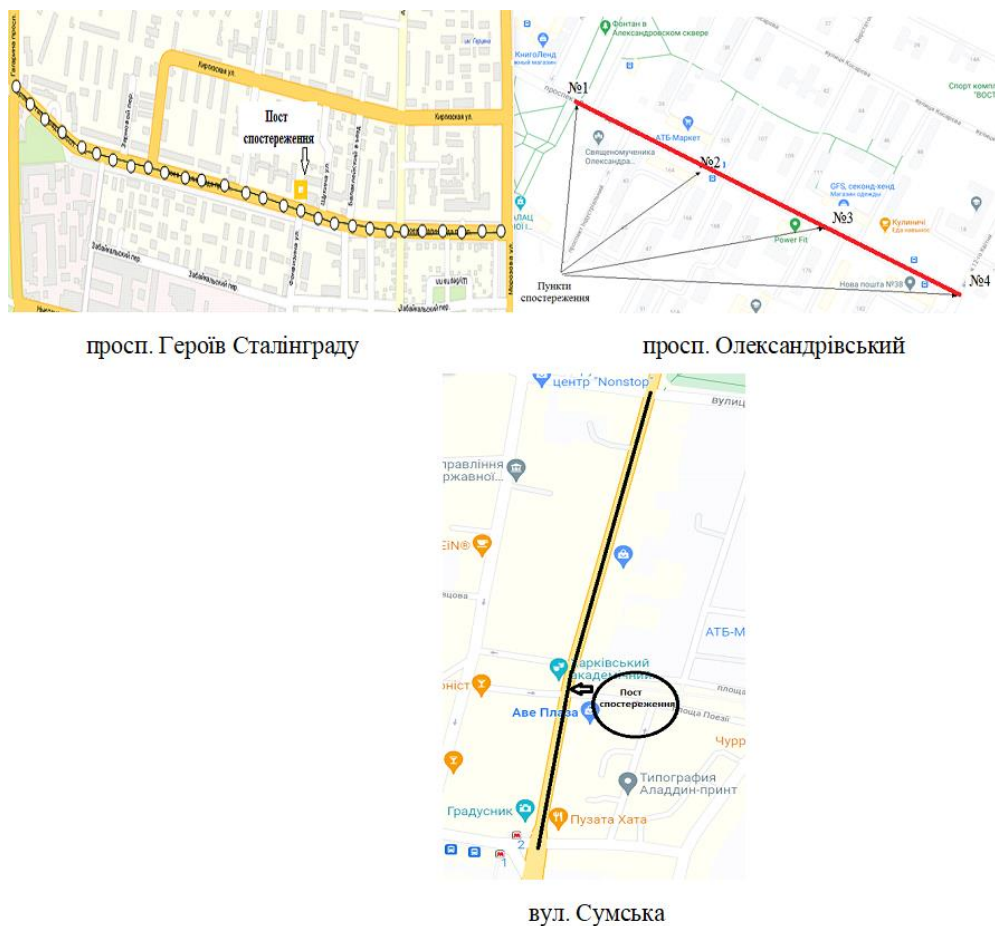


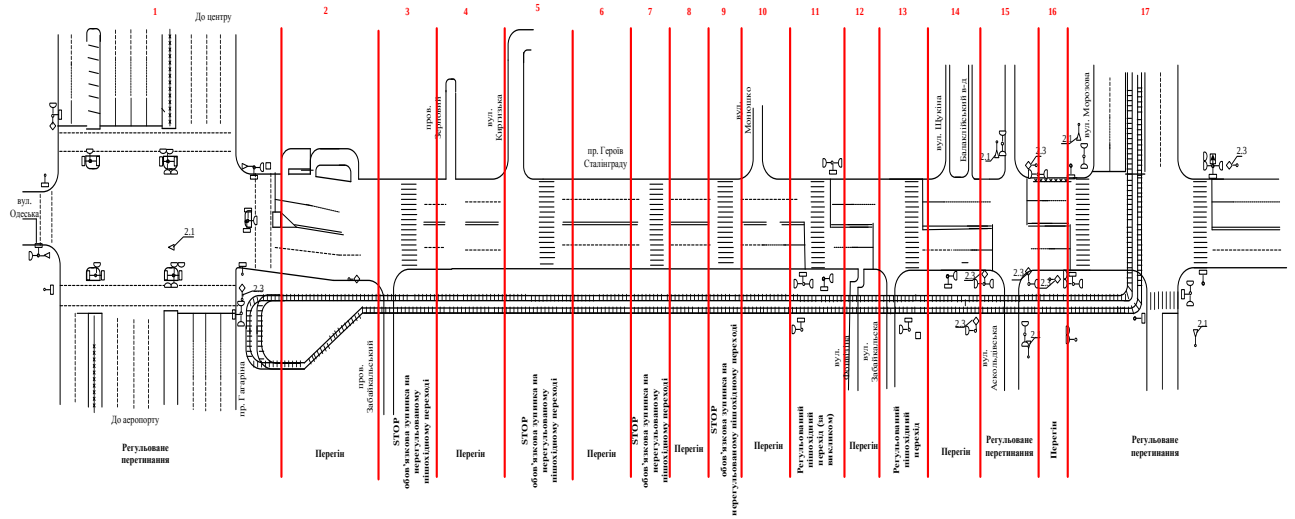
Рисунок 2.1 – Об’єкти дослідження на карті міста

Найближчі організовані пішохідні переходи знаходяться на відстані 150-210 м. Якщо йти в обхід, то ці відстані треба помножити на два. Змусити йти пішоходів на пішохідні переходи не допоможе і пішохідна огорожа, нажаль, така реальність.

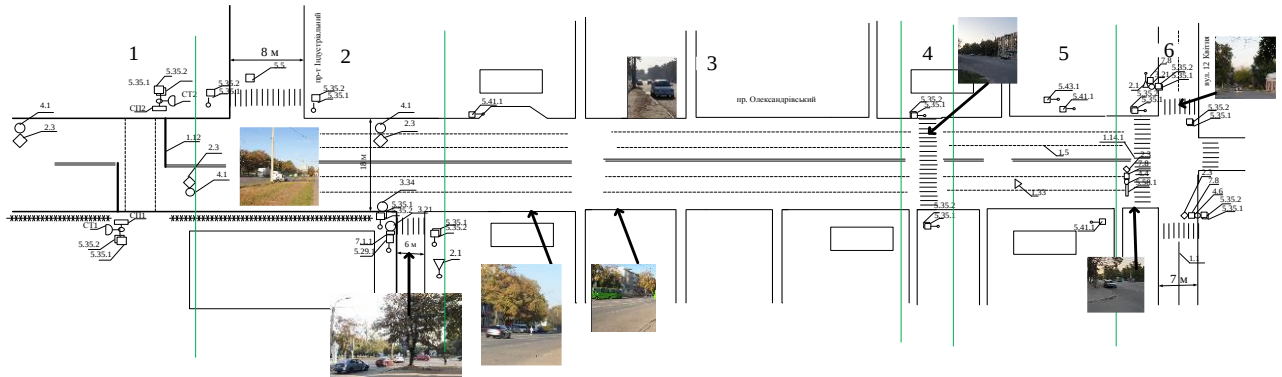
Альтернативним варіантом буде все ж таки облаштування пішохідного переходу, шляхом перенесення вже існуючого в більш зручне місце для пішоходів. До того ж довжина перегонів між перехрестями і нерегульованим пішохідним переходом не значна, тобто ТЗ під час руху змушені збільшувати й зменшувати швидкість руху. Проблемою на ділянці по вул. Сумська, протяжність якої близька 550 м знаходяться 5 пішохідних переходів (один з яких є нерегульованим).

Більш детально розберемо ситуацію по просп. Олександрівський. Існуюча схема ділянки та запропонована схема ОДР №1 наведені відповідно на рис. 2.2 та рис. 2.3.

просп. Героїв Сталінграду



просп. Олександрівський



вул. Сумська

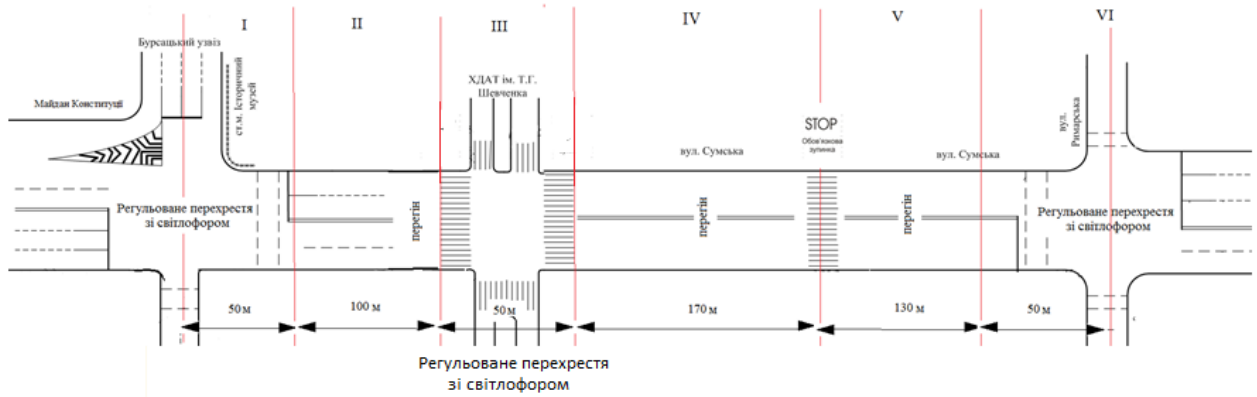


Рисунок 2.2 – Схеми розподілу ділянок на зони

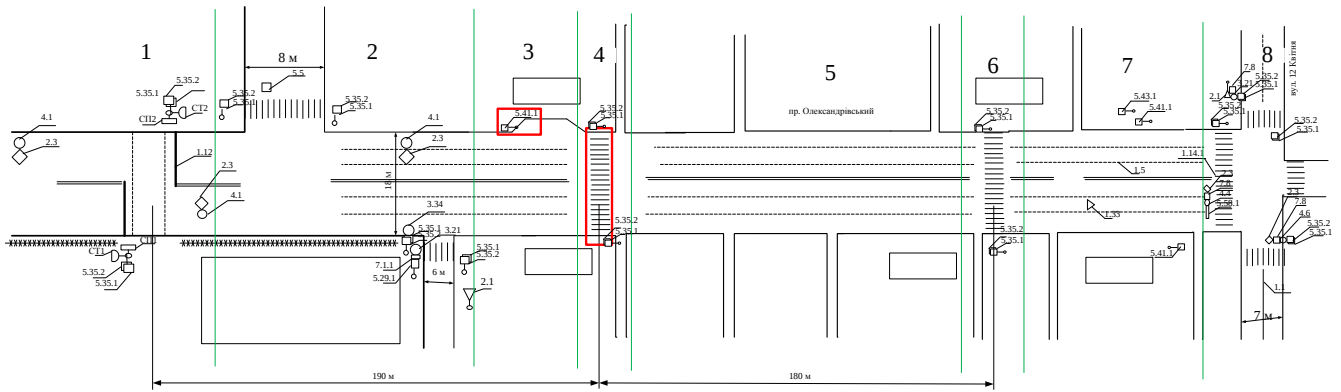


Рисунок 2.3 – Запропонована схема ділянки з розташуванням технічних засобів регулювання №1

Запропонований варіант розташування пішохідних переходів суперечить рекомендаціям з регулювання пішохідного руху в містах [34]. Тому доцільною буде запропонована схема ОДР №2 з улаштуванням одного пішохідного переходу посередині ділянки (див. рис. 2.4). З метою підвищення рівня безпеки та зниження екологічного навантаження нами запропоновано розглянути варіант схеми ОДР №3 з регульованими пішохідним переходом та перехрестями на досліджуваній ділянці (див. рис. 2.5). Тип схеми ОДР в кожній зоні наведений в таблиці 2.1.

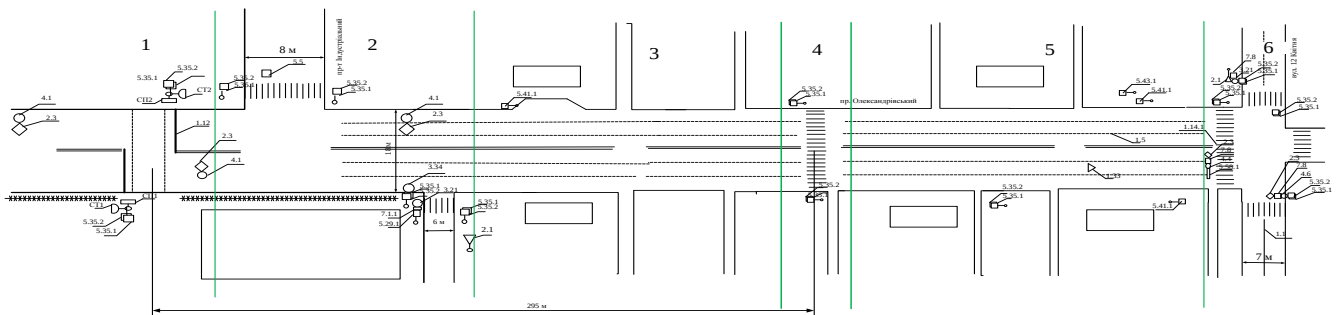


Рисунок 2.4 – Запропонована схема ділянки з розташуванням технічних засобів регулювання №2

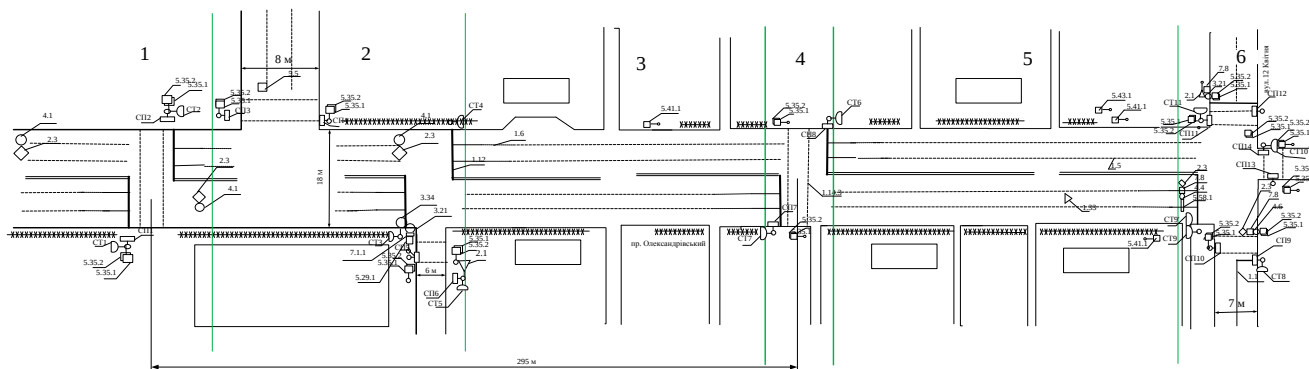


Рисунок 2.5 – Запропонована схема ділянки з розташуванням технічних засобів регулювання №3

Для кожної зони окремо визначалась концентрація СО за методикою проф. Шаповалова А. Л., ХНАДУ, де змінювались схеми ОДР. Фонове забруднення атмосферного повітря нетранспортного походження за даними гідрометеорологічної служби приймаємо на усій ділянці рівним $1,0 \text{ мг/м}^3$. Сумарна інтенсивність руху АТЗ по дорозі визначалась за результатами натурних спостережень, проведених в ранкові години “пік”.

Таблиця 2.1 - Характеристика ділянки в залежності від типу ОДР на ній

Зони	Тип ОДР			
	Наявний	Запропонований №1	Запропонований №2	Запропонований №3
1	Регульований пішохідний перехід	Регульований пішохідний перехід	Регульований пішохідний перехід	Регульований пішохідний перехід
2	Нерегульоване перехрестя	Нерегульоване перехрестя	Нерегульоване перехрестя	Регульоване перехрестя
3	Перегін	Перегін	Перегін	Перегін
4	Нерегульований пішохідний перехід	Нерегульований пішохідний перехід	Нерегульований пішохідний перехід	Регульований пішохідний перехід
5	Перегін	Перегін	Перегін	Перегін
6	Нерегульоване перехрестя	Нерегульований пішохідний перехід	Нерегульоване перехрестя	Регульоване перехрестя
7	-	Перегін	-	-
8	-	Нерегульоване перехрестя	-	-

До речі, розрахунок обсягу вибірки довів, що нами при заданій довірчій ймовірності $\beta = 0,95$ виконана достатня кількість спостережень. Разом з цим було визначено склад ТП. Середня інтенсивність руху ТЗ за годину на досліджуваній ділянці за результатами натурних спостережень наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Склад ТП на досліджуваній ділянці

Тип АТЗ	Кількість автомобілів у напрямку, од.		Коефіцієнт токсичності, K_T	Частка автомобілів i -го типу, P
	від пр. Індустріального до вул. 12 Квітня	від вул. 12 Квітня до пр. Індустріального		
Мотоцикли	-	1	1	0,0006
Легкові автомобілі	571	927	1	0,875
Середні вантажні	10	13	2,9	0,013
Тяжкі вантажні	2	3	0,2	0,003
Мікроавтобуси	54	79	1,5	0,078
Автобуси	14	29	3,7	0,025
Тролейбуси	-	7	-	0,004
Трактори	1	1	2,0	0,0012
Разом	652	1060	-	1,0

Таким чином коефіцієнт токсичності на ділянці дорівнює

$$K_T = 1 \cdot 0,0006 + 1 \cdot 0,875 + 2,9 \cdot 0,013 + 0,2 \cdot 0,003 + 1,5 \cdot 0,078 + 3,7 \cdot 0,025 + 2 \cdot 0,0012 = 1,1258.$$

Інтенсивність ТП за годину на досліджуваній ділянці в обох напрямках складає 1705 (без урахування тролейбусів) автомобілів. Коефіцієнт, який враховує аерацію місцевості K_A приймаємо рівним 1,0, оскільки тип місцевості за ступенем аерації є забудова з обох сторін. Повздовжній ухил на даній ділянці дорівнює 0,8 %, тоді $K_y = 1,025$. Коефіцієнт змінення концентрацій СО відповідно в залежності від швидкості вітру та відносної вологості повітря (ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія) для м. Харків взимку при v_B - 4,71 м/с $K_{шв}$ =1,09, при $w_{п}$ - 81 % $K_{вв}$ =1,18 та влітку при v_B - 3,96 м/с $K_{шв}$ =1,22, при $w_{п}$ - 47% $K_{вв}$ =0,7. Коефіцієнт змінення забруднення атмосферного повітря со за прогнозом екологів K_z приймаємо рівним 1,54. Коефіцієнт, що враховує зміну забруднення атмосферного повітря в залежності від типу ОДР на перетинанні $K_{п}$ в зоні 1 приймаємо рівним 2,1 (перехрестя регульоване світлофором) і

так призначаємо в кожній зоні. Швидкість руху ТП також знаходилась на основі експериментальних спостережень. Значення швидкостей визначалось на основі визначення можливого значення швидкості, з якою автомобіль може рухатись по ділянці без перешкод з боку інших ТЗ, враховуючи вид дороги та стан покриття. Для досліджуваної ділянки в напрямку просп. Індустріальний миттєва швидкість становить

$$V_{\text{вр вул. 12 Квітня - просп. Індустріальний}} = \frac{590}{13} \cdot 3,6 = 45,4 \text{ км/год.}$$

Тоді коефіцієнт швидкості ТП та умов руху $k_{\text{ш}} = 1,27 - 0,015 \cdot 45,4 = 0,589$. Коефіцієнт щільності озеленення чи забудови дорівнює $k_o = 1 + 0,44 \cdot 0,8 = 1,352$.

Таким чином концентрація СО для зони І відповідно у зимовий та літній періоди складає

$$K_{\text{CO1зима}} = (1,0 + 0,01 \cdot 1705 \cdot 1,1258) \cdot 1,0 \cdot 1,025 \cdot 1,09 \cdot 1,18 \cdot 2,1 \cdot 1,54 \cdot 0,589 \cdot 1,352 = 68,56 \text{ мг/м}^3,$$

$$K_{\text{CO1літо}} = (1,0 + 0,01 \cdot 1705 \cdot 1,1258) \cdot 1,0 \cdot 1,025 \cdot 1,22 \cdot 0,7 \cdot 2,1 \cdot 1,54 \cdot 0,589 \cdot 1,352 = 45,53 \text{ мг/м}^3.$$

Аналогічно розраховуємо k_{CO} для інших зон та всіх схем ОДР. В результаті отримані розміри викидів в залежності від типу ОДР (див. табл. 2.3 – табл. 2.6).

Таблиця 2.3 - Концентрації СО, мг/м³ (існуюча схема ОДР)

Зона	C_{ϕ}	N	K_T	K_A	K_y	K_c		K_b		K_3	K_{II}	K_{III}	K_o	K_{co}	
						зима	літо	зима	літо					зима	літо
1	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53
2	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04
3	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
4	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04
5	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
6	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04

Таблиця 2.4 - Концентрації CO, мг/м³ (запропонована схема ОДР№1)

Зона	C _ф	N	K _T	K _A	K _y	K _c		K _B		K _з	K _П	K _ш	K _о	K _{co}	
						зима	літо	зима	літо					зима	літо
1	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53
2	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04
3	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
4	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04
5	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
6	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04
7	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
8	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04

Таблиця 2.5 - Концентрації CO, мг/м³ (запропонована схема ОДР №2)

Зона	C _ф	N	K _T	K _A	K _y	K _c		K _B		K _з	K _П	K _ш	K _о	K _{co}	
						зима	літо	зима	літо					зима	літо
1	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53
2	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04
3	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
4	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04
5	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
6	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	3,0	1,54	0,589	1,352	97,95	65,04

Таблиця 2.6 - Концентрації окису CO, мг/м³ (запропонована схема ОДР№3)

Зона	C _ф	N	K _T	K _A	K _y	K _c		K _B		K _з	K _П	K _ш	K _о	K _{co}	
						зима	літо	зима	літо					зима	літо
1	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53
2	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53
3	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
4	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53
5	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
6	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53

На основі результатів розрахунків концентрацій CO нами побудовано графіки залежності рівня викидів CO від схеми ОДР взимку та влітку (див. рис. 2.6, рис. 2.7). Аналіз графіків дозволяє зробити висновки, що найліпшою схемою ОДР є схема №3 (з введенням світлофорного регулювання на перехрестях просп. Олександрівський – просп. Індустріальний, просп. Олександрівський - вул. 12 Квітня та пішохідному переході за викликом). Але на усіх ділянках концентрація CO відповідає рівню

“екологічно небезпечно”. Лише влітку в зонах звичайних перегонів рівень СО наблизений до рівня “екологічно помірно небезпечно”. Такі ж результати отримані нами по просп. Героїв Сталінграду та вул. Сумська (див. рис. 2.8, рис. 2.9).

В результаті розрахунків по просп. Героїв Сталінграду виявлено, що концентрація СО найбільша в зонах 3, 5, 7, 9 та 11 – район з обов’язковою зупинкою (нерегульовані пішохідні переходи).

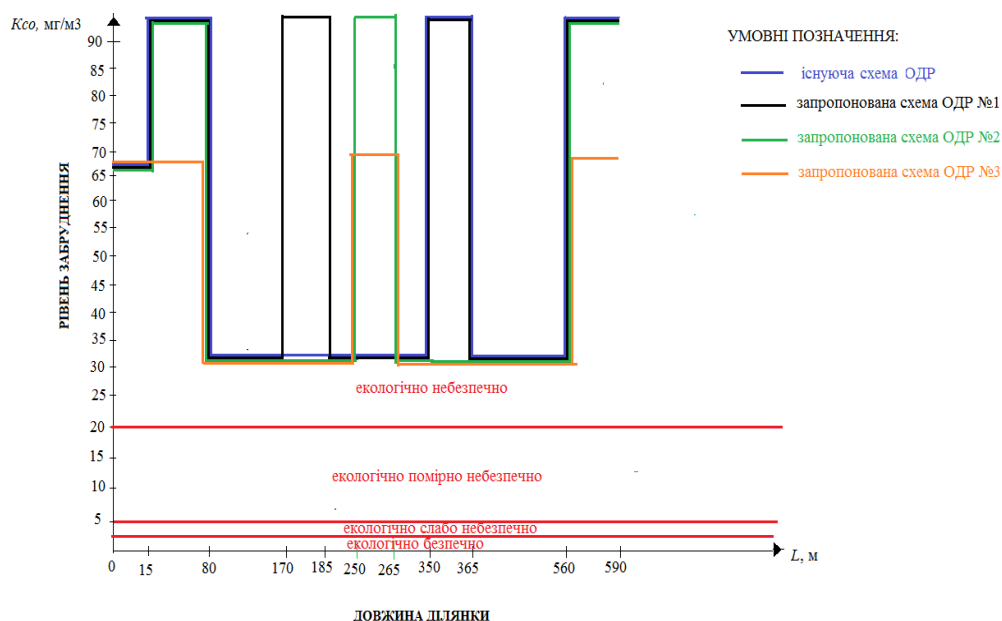


Рисунок 2.6 – Залежність рівня викидів СО від схеми ОДР взимку

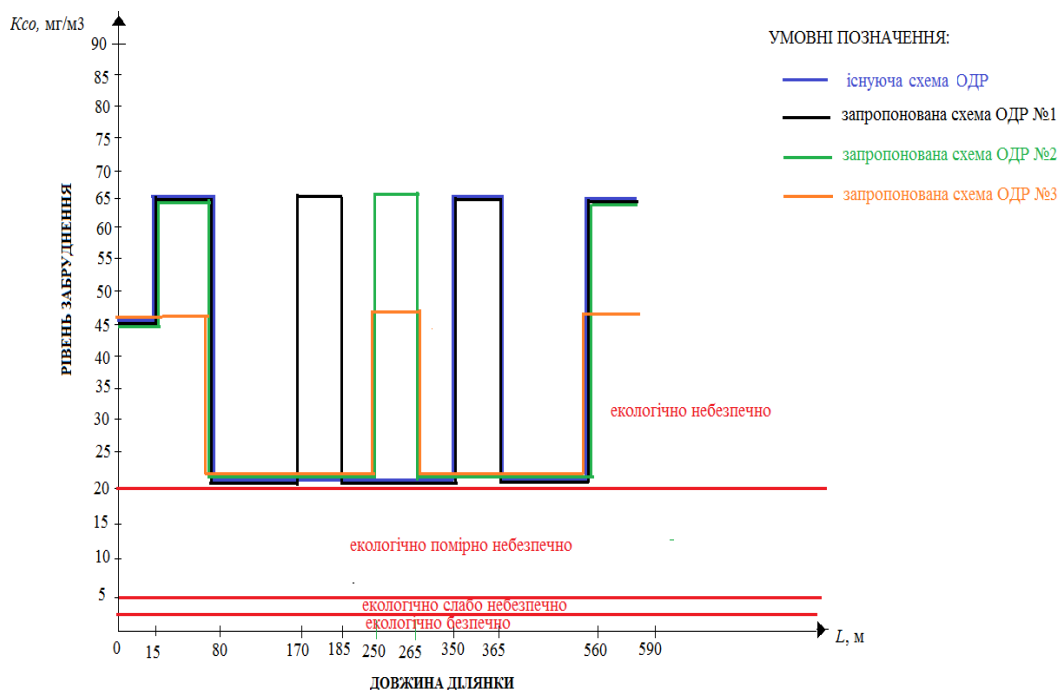


Рисунок 2.7 – Залежність рівня викидів СО від схеми ОДР влітку

Ситуація в цій зоні відповідає рівню “екологічно небезпечно”.

Схожа ситуація склалася в зонах 1, 13, 15 та 17 з регульованими перехрестями, але з меншим рівнем концентрації. Зони 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 та 16 зі звичайними перегонами мають рівень концентрації відповідний рівню “екологічно помірно небезпечно” при такій самій ситуації.

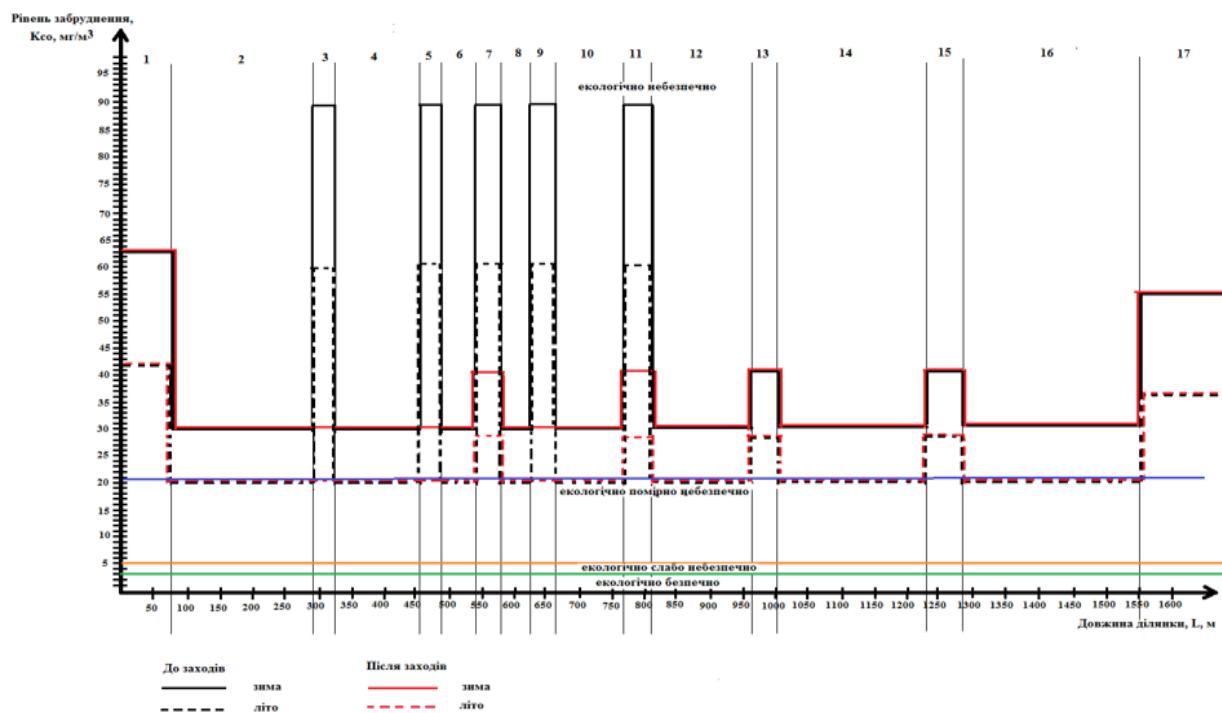


Рисунок 2.8 - Залежність рівня викидів CO від схеми ОДР по просп. Героїв Сталінграду

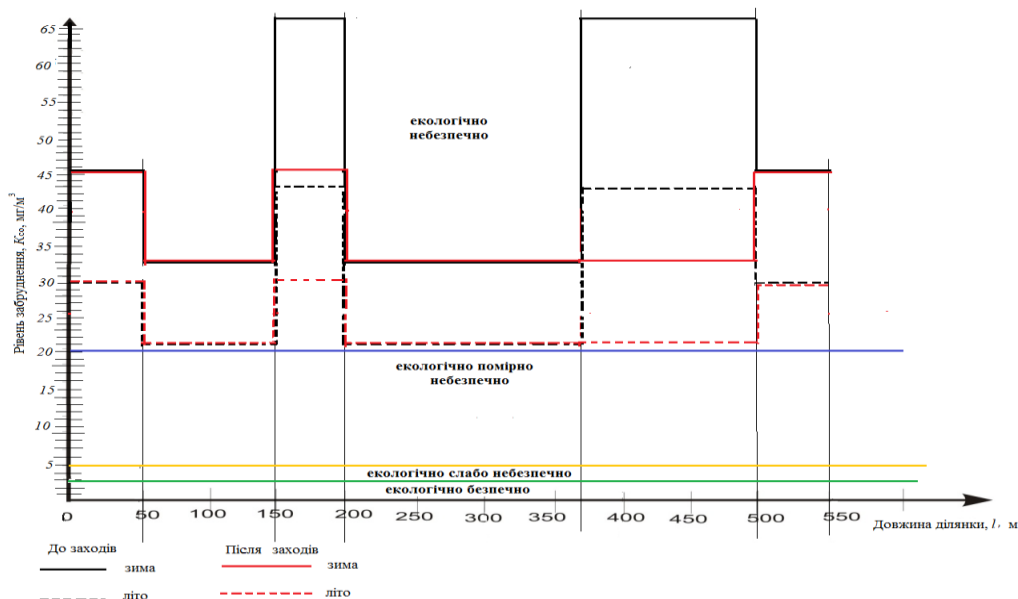


Рисунок 2.9 - Залежність рівня викидів CO від схеми ОДР по вул. Сумська

В зонах 1, 13, 15 та 17 для початку запропоновано нічого не змінювати. Зменшити концентрацію СО в зонах 3, 5, 7, 9 та 11 можливо за рахунок введення світлофорного регулювання в зоні 7 та 11, а в зонах 3, 5, 9 нерегульовані пішохідні переходи прибираємо. Таким чином в зонах 1, 13, 15 та 17 зменшення рівня забруднення не спостерігається, в зоні 7 та 11 зменшується майже в 2 рази, а в зонах 3, 5, 9 знижується до викидів як в зонах 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 та 16.

В результаті розрахунків по вул. Сумська виявлено, що концентрація СО найбільша в зоні V – район з обов’язковою зупинкою (пішохідний перехід напроти Радіотехнічного коледжу). Ситуація в цій зоні відповідає рівню “екологічно небезпечно”. Схожа ситуація склалася в зонах I, III та VI з регульованими перехрестями, але з меншим рівнем концентрації. Зони II та IV зі звичайними перегонами мають рівень концентрації майже відповідний рівню “екологічно помірно небезпечно” при такій самій ситуації. В зонах I, III та VI для початку запропоновано нічого не змінювати. Зменшити концентрацію СО в зоні V можливо за рахунок ліквідації нерегульованого пішохідного переходу. Таким чином в зонах I, III та VI зменшення рівня забруднення не спостерігається, а в зоні V знижується до викидів як в зонах II та IV.

Пропозиція зменшувати концентрації СО за рахунок утворення паралельних маршрутів, заборони паркування вздовж ділянок та створення стоянок біля нежитлої будівлі та центрів тяжіння не знижують екологічне забруднення навіть до рівня “екологічно помірно небезпечно”. Проблему слід вирішувати, як вже зазначалось, шляхом застосування комплексу відповідних заходів.

Оскільки дві ділянки є магістралями районного значення, а вул. Сумська - головною вулицею міста із сформованою забудовою і планувальною структурою, то застосування інженерних захисних споруджень (стілки-екрани, виїмки, насипи) і озеленіння у районах неможливо через відсутність необхідної території. У складних умовах реконструкції ВДМ будь-яких зон міст зі сформованою забудовою можуть застосовуватися примусові заходи щодо обмеження швидкості руху ТЗ та обмеження деяких типів ТЗ. При проектуванні транспортної мережі існують різні варіанти

створення таких зон: пішохідні, житлові, зони з обмеженим доступом транспорту [17], зони обмеження швидкості ТЗ [18]. Оскільки за розрахунками введення світлофорного регулювання дорожнім рухом зовсім не виключає екологічно небезпечної ситуації, доцільно реалізувати координоване управління [19], оскільки для введення “зеленої хвилі” потрібно мінімум дві смуги руху у кожному напрямку. На просп. Героїв Сталінграду є дві смуги руху і довжина ділянки 1600 м, але довжина деяких перегонів з урахуванням регульованих пішохідних переходів не перевищує 200 м, тому робимо висновок, що введення координованого управління типу “зелена хвиля” там не доцільне. Замість локального світлофорного регулювання необхідно дослідити введення синхронного або асинхронного координованого керування рухом, що відповідають названим дорожнім умовам. На просп. Олександрівський є три смуги руху і довжина ділянки майже 600 м, а довжина перегонів між регульованими перетинаннями та пішохідним переходом близька 300 м. Тому введення координованого управління є доцільним, при цьому змінюється тип ОДР на ділянках 1, 2, 4, 6 зі світлофором до з керуванням АСУ дорожнім рухом, де K_{Π} зменшується згідно методики проф. Шаповалова А. Л. до 1,2. Але і цей захід не виключає екологічно небезпечної ситуації (див табл. 2.7). Той самий захід на інших ділянках наведений в табл. 2.8, табл. 2.9.

Таблиця 2.7 - Концентрації СО в кожній зоні ділянки, мг/м^3 (запропонована схема ОДР з введенням координованого управління по просп. Олександрівський)

Зона	C_{Φ}	N	K_T	K_A	K_Y	K_C		K_B		K_Z	K_{Π}	$K_{\text{ш}}$	K_0	K_{CO}	
						зима	літо	зима	літо					зима	літо
1	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,589	1,352	39,18	26,02
2	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,589	1,352	39,18	26,02
3	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
4	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,589	1,352	39,18	26,02
5	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
6	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,589	1,352	39,18	26,02

Таблиця 2.8 - Концентрації СО в кожній зоні ділянки, мг/м³ (запропонована схема ОДР з введенням координованого управління по просп. Героїв Сталінграду)

Зона	C _ф	N	K _T	K _A	K _y	K _c		K _b		K _п	K _з	K _ш	K _о	K _{со}	
						зима	літо	зима	літо					зима	літо
1	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,264	35,76	23,736
2	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
3	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
4	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
5	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
6	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
7	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,264	35,76	23,736
8	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
9	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
10	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
11	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,264	35,76	23,736
12	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
13	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,264	35,76	23,736
14	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
15	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,264	35,76	23,736
16	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,78	1,264	29,8	19,78
17	1,0	1239	1,121	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,264	35,76	23,736

Таблиця 2.9 - Концентрації СО в кожній зоні ділянки, мг/м³ (запропонована схема ОДР з введенням координованого управління по вул. Сумська)

Зона	C _ф	N	K _T	K _A	K _y	K _c		K _b		K _п	K _з	K _ш	K _о	K _{со}	
						зима	літо	зима	літо					зима	літо
I	1,0	1389	1,165	1,0	1,0475	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,18	39,7	25,92
II	1,0	1389	1,165	1,0	1,0475	1,09	1,22	1,18	0,7	-	1,54	0,78	1,18	33,07	21,6
III	1,0	1389	1,165	1,0	1,0475	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,18	39,7	25,92
VI	1,0	1389	1,165	1,0	1,0475	1,09	1,22	1,18	0,7	-	1,54	0,78	1,18	33,07	21,6
V	1,0	1389	1,165	1,0	1,0475	1,09	1,22	1,18	0,7	-	1,54	0,78	1,18	33,07	21,6
IV	1,0	1389	1,165	1,0	1,0475	1,09	1,22	1,18	0,7	1,2	1,54	0,78	1,18	39,7	25,92

Варіант введення одностороннього руху на ділянках викликає потребу в будівництві об'їзної дороги та великих витрат, пов'язаних з перенесенням тролейбусно-контактної мережі. Для цього можна знайти територію, але потрібні великі капітальні вкладення і це не виключає виникнення екологічно небезпечної ситуації. Варіант перерозподілу ТП по суміжним вулицям також не виключає значних витрат та екологічного навантаження на них.

На об'єктах дослідження існують центри тяжіння транспорту, що призводить до збільшення руху ТЗ та формування біятротуарних стоянок при їх забороні. На більшості магістралей міста розташовані стоянки з обох боків руху ТЗ (наприклад, просп. Олександрівський, вул. Плеханівська), що призводить до зменшення

пропускної спроможності проїзних частин, оскільки у кожному напрямку одна смуга руху зайнята для паркування ТЗ. Так, одним з найоптимальніших рішень зміни ОДР на ділянках є заборона паркування ТЗ на проїзній частині вздовж тротуару. Це суттєво вплине на швидкісний режим руху, а заборона паркування призведе до зменшення черги на проїзд, тобто зміниться час роботи двигуна на холостому ходу.

У містах підвищити безпеку руху пішоходів можна за рахунок введення регульованих пішохідних переходів [20]. Але більш сприятливим заходом для поліпшення екологічної безпеки було б будівництво надземного чи підземного пішохідного переходу (див. табл. 2.10), де коефіцієнт K_{Π} зменшився б згідно методики проф. Шаповалова А. Л., ХНАДУ, до 1,0. У районі дослідження існує необхідна територія для будівництва надземних та підземних пішохідних переходів (тим більше, що нами штучно була скорочена їх кількість), але занадто щільна підземна мережа комунікацій не дозволяє будувати підземні, а надземні переходи потребують великих капітальних вкладень.

Таблиця 2.10 - Концентрації СО в кожній зоні ділянки, мг/м^3 (запропонована схема ОДР з надземним або підземним пішохідним світлофором біля буд. №109 по просп. Олександрівський)

Зона	C_{Φ}	N	K_T	K_A	K_y	K_c		K_b		K_z	K_{Π}	$K_{\text{ш}}$	K_o	K_{co}	
						зима	літо	зима	літо					зима	літо
1	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53
2	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53
3	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
4	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
5	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	1,0	1,54	0,589	1,352	32,65	21,68
6	1,0	1705	1,1258	1,0	1,025	1,09	1,22	1,18	0,7	2,1	1,54	0,589	1,352	68,56	45,53

Необхідно розробити програмне світлофорне регулювання на більш завантажених перехрестях (просп. Героїв Сталінграду – просп. Гагаріна – вул. Одеська, просп. Олександрівський – просп. Індустріальний), але такий підхід потребує встановлення додаткового обладнання, а саме модуля синхронізації часу за сигналами GPS.

На рис. 2.10 – рис. 2.12 наведено рівень викиду СО на усіх досліджуваних ділянках при різних варіантах ОДР на них.

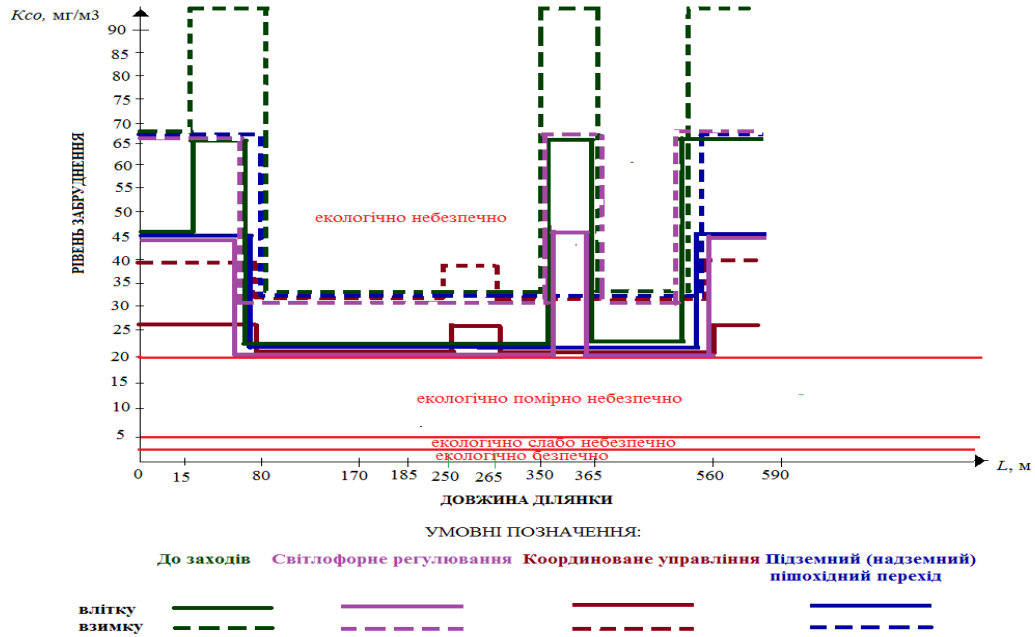


Рисунок 2.10 – Залежність рівня викидів CO від схем ОДР по просп. Олександрівський

Оскільки апробована вище методика не має можливості враховувати різні схеми ОДР на перехресті, розглянемо варіант застосування програмного забезпечення PTV VISSIM з метою оцінки рівня викидів ШР на елементах ВДМ.

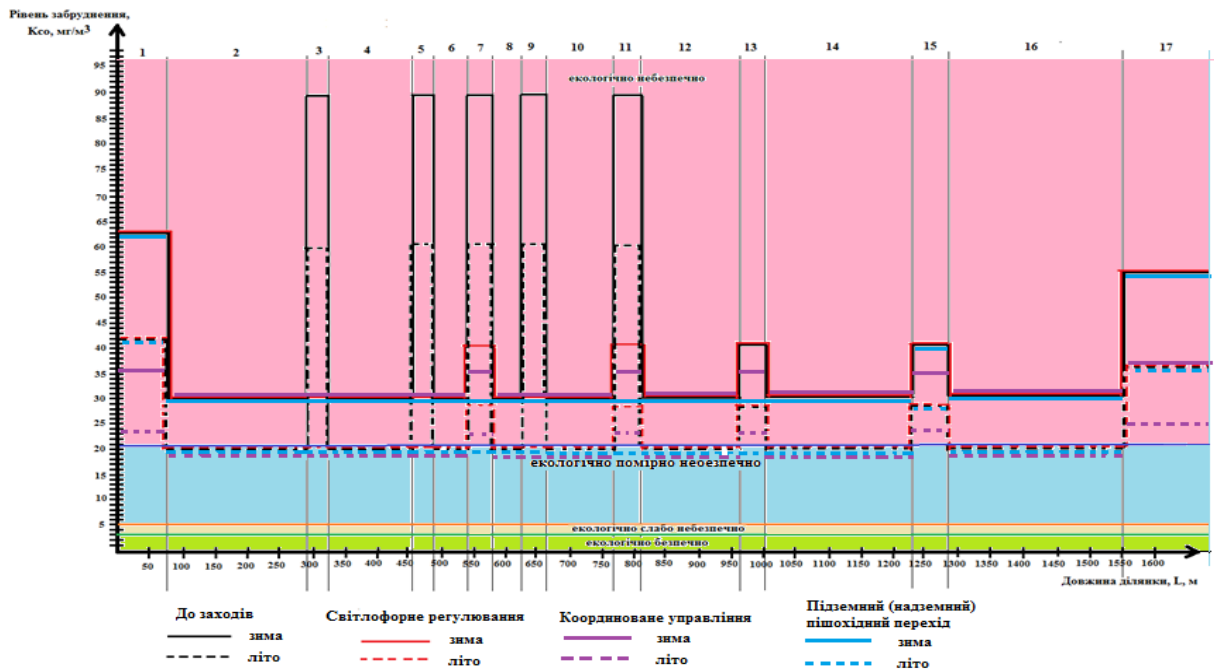


Рисунок 2.11 - Рівень викидів CO в залежності від схем ОДР по просп. Героїв Сталінграду

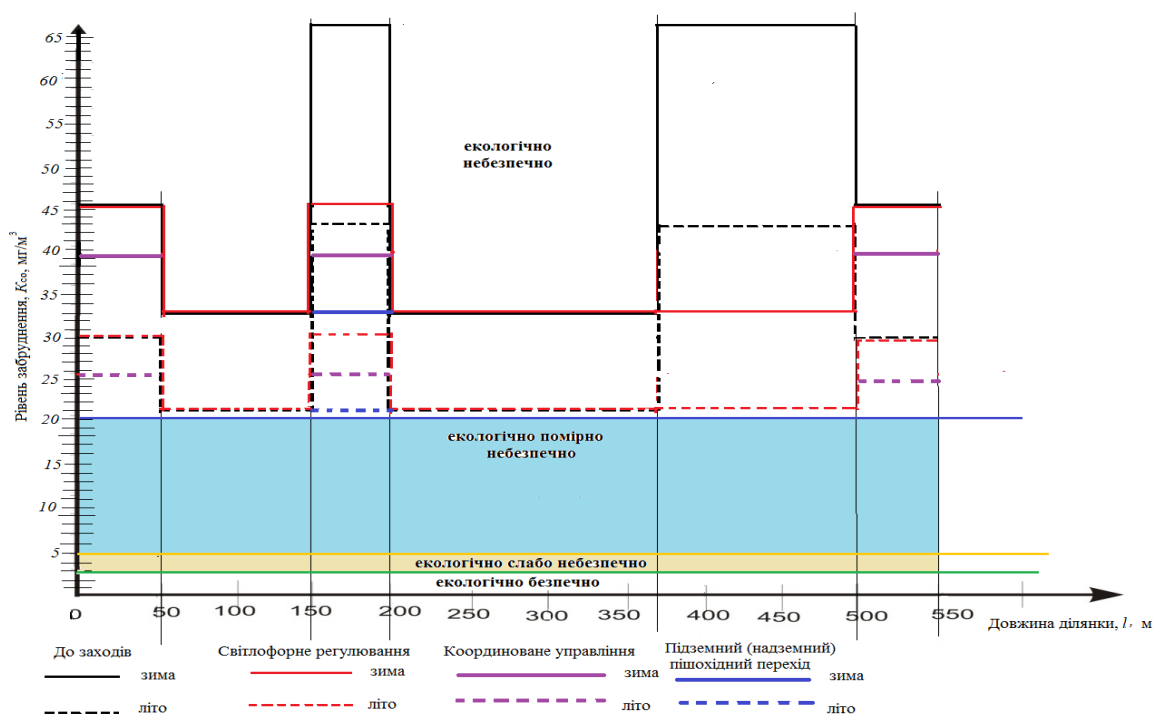


Рисунок 2.12 - Рівень викидів CO в залежності від схем ОДР по вул. Сумська

Для дослідження обрано нерегульоване перехрестя вул. 12 Квітня – просп. Олександрівський Індустріального району м. Харків. За попередніми розрахунками за методикою проф. Шаповалова А.Л., ХНАДУ, виявлено, що на усіх ділянках концентрація основного політанта CO досить велика та відповідає рівню «екологічно небезпечно». Під час проведення натурних спостережень за інтенсивністю та складом ТП, спостерігалась безліч конфліктних ситуацій, пов'язаних з порушенням правил проїзду перехрестя та переходом пішоходами проїзної частини. Тож було прийняте рішення розглянути варіант впровадження світлофорного регулювання з роз'їздом в 2 та 3 фази та обрати найліпший при умові забезпечення екологічної безпеки на заданому перехресті.

В результаті моделюванні в студентській версії програмного забезпечення PTV VISSIM (див. рис. 2.13), що дозволяє отримати результати лише за 10 хвилин, отримуємо розміри викидів ШР (див. табл. 2.11). Таким чином, запропонований варіант схеми ОДР з введенням світлофорного регулювання (2 фази) дозволяє знизити забруднення атмосферного повітря приблизно в 4 рази.

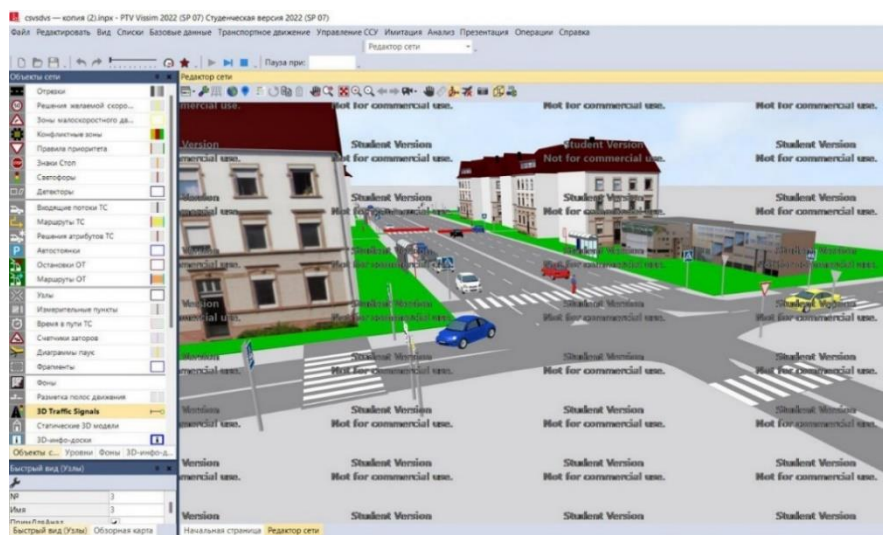


Рисунок 2.13 - Фрагмент моделювання дорожнього руху при існуючій схемі ОДР на перехресті вул. 12 Квітня – просп. Олександрівський

З метою підвищення екологічної безпеки регульованого перехрестя вул. Миру – просп. Архітектора Альошина в цьому ж Індустріальному районі м. Харків та удосконалення ОДР на ньому запропоновано розглянути три варіанти схем ОДР: існуючий варіант 1 (регульоване перетинання з роз'їздом у 2 фази), запропонований варіант 2 (регульоване перетинання з роз'їздом у 2 фази з перерахунком тривалості циклу), запропонований варіант 3 (регульоване перетинання з роз'їздом у 2 фази, але зі зміненою геометрією перетинання (див. рис. 2.14).

Таблиця 2.11 - Результати моделювання (вул. 12 Квітня – проспект Олександрівський)

Варіант схеми ОДР на перетинанні	Викиди ШР, г		
	CO	NO _x	Летючі органічні сполуки
Існуюча – нерегульоване перехрестя	111,822	21,757	25,916
Запропонована – регульоване перехрестя з роз'їздом в 2 фази	27,368	5,325	6,343
Запропонована - регульоване перехрестя з роз'їздом в 3 фази	112,067	21,804	25,973

1 фаза



2 фаза

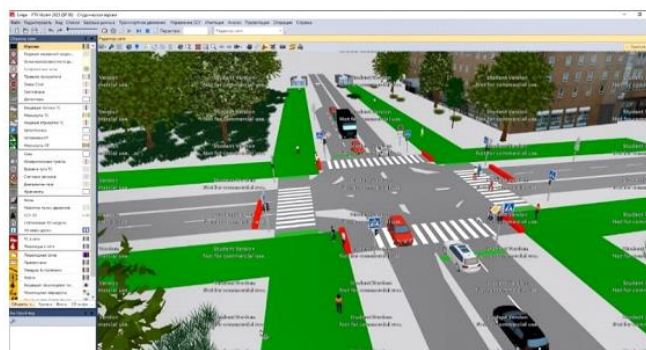


Рисунок 2.14 – Фрагмент моделювання при запропонованій 3 схемі ОДР на перехресті вул. Миру – просп. Архітектора Альошина

Отримані результати моделювання в PTV VISSIM (див. табл. 2.12) дозволили визначитись з найбільш ефективним варіантом ОДР на перехресті, да і взагалі дане програмне забезпечення може бути підтримкою в прийнятті управлінських рішень стосовно вибору таких варіантів ОДР, які будуть максимально наближені до оптимальних.

В роботі обґрунтовано актуальність проблеми забруднення навколишнього середовища ТП в містах та доведено, що питання оцінки стану повітря, прогнозування та моделювання процесу забруднення атмосфери, спостереження за викидами ШР та розробки комплексних схем ОДР вирішуються не в повному обсязі. Аналіз існуючих методів і методик прогнозування зміни забруднення навколишнього середовища дозволив визначитись з такими, що дозволяють оцінювати зміни забруднення навколишнього середовища на міських дорогах з урахуванням ОДР.

Таблиця 2.12 – Результати моделювання (вул. Миру – просп. Архітектора Альошина)

Варіант схеми ОДР на перетинанні	Викиди ІШР, г		
	СО	NO _x	Летючі органічні сполуки
Існуюча - регульоване перетинання з роз'їздом у 2 фази	337,663	65,697	78,257
Запропонована - регульоване перетинання з роз'їздом у 2 фази з перерахунком тривалості циклу	220,482	42,898	51,099
Запропонована - регульоване перетинання з роз'їздом у 2 фази, але зі зміненою геометрією перетинання	212,302	41,306	49,203

Апробація зазначених методик дозволила встановити, що на усіх ділянках рівень забруднення повітря відповідає рівню “екологічно небезпечно”. Запропонований варіант зниження забруднення за рахунок введення програмного світлофорного регулювання або координованого управління сприяє зниженню забруднення в м. Харків на 60 % по просп. Героїв Сталінграду, на 22 % по просп. Олександрівський та на 35 % по вул. Сумська. Надані практичні рекомендації з поліпшення екологічного навантаження підтверджують необхідність вибору найбільш раціональних заходів ОДР. Але вирішити проблему можливо при комплексному підході: зменшення токсичності викидів від кожного окремого АТЗ, раціональне планування газозахисних споруд та озеленіння і, головне, зміна транспортно-планувальних характеристик ВДМ разом з удосконаленням ОДР.

Оцінка екологічної безпеки перехрестя за результатами моделювання в PTV VISSIM на даний момент є найоптимальнішим варіантом, який враховує різні характеристики дорожнього руху, причому деякі з них більш точно, ніж інші методики (наприклад, склад ТП) та різні умови руху. Однак, застосування PTV-VISSIM вимагає збору досить великої кількості вхідних даних та досконалого відтворення умов реального руху.

З МЕТОДИ ОТРИМАННЯ МАТРИЦЬ ТРАНСПОРТНИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ У МІСТАХ

В наш час проблема управління транспортними потоками, особливо в великих містах, загострюється. Зростання кількості транспортних засобів призводить до перевантаження міських вулиць, заторам, підвищує кількість дорожньо-транспортних пригод [39]. Об'єктом керування в АСУ дорожнім рухом є транспортний потік, окремі учасники якого (водії) реагують по-різному на зміни у транспортній системі, що ускладнює її аналіз. Тобто, транспортні потоки являють собою складну технічно-соціальну систему. Для міських транспортних потоків характерна стохастичність. Їхні характеристики можна спрогнозувати лише з певною вірогідністю. Транспортні потоки є нестаціонарними, оскільки їхня інтенсивність змінюється протягом доби, місяця, року. Крім того, транспортними потоками важко керувати, оскільки заходи з перерозподілу потоків на мережі часто носять рекомендаційний характер за винятком правил дорожнього руху [40].

Якість функціонування транспортної системи часто оцінюється декількома критеріями, зокрема, затримками пішоходів та транспортних засобів, кількістю ДТП, екологічними параметрами тощо. Причому ці критерії взаємозв'язані.

Більше того, складною задачею є збір інформації про параметри транспортної системи, такі як швидкість потоку, інтенсивність, склад потоку [39, 41].

Отримання матриці транспортних кореспонденцій є важливим та необхідним етапом при аналізі транспортних мереж великих міст. Матриця містить в собі інформацію щодо кількості транспортних засобів, які прослідували від певного транспортного району i до іншого транспортного району j за певний проміжок часу (зазвичай, модель будують для години "пік"). Отримати матрицю кореспонденцій безпосередньо за допомогою, наприклад, анкетних опитувань зазвичай потребує багато часу та коштів. Але за допомогою вимірів інтенсивностей та деякої іншої інформації ми можемо розрахувати приблизні значення елементів матриці кореспонденцій, достатні для практичного застосування [41, 42].

3.1 Моделювання транспортної мережі

Для моделювання територія міста умовно розділяється на декілька транспортних районів за відомими принципами [43]. Схема транспортної мережі має вигляд плоского орієнтованого графу. Умовні центри транспортних районів відображаються у вигляді вершин. Основні дороги, якими здійснюється рух транспорту, відображаються у вигляді ребер графу з урахуванням напрямку руху. Вершини характеризуються обсягами відправлення і прибуття автомобілів. Ребра характеризуються довжиною, пропускною спроможністю

Одним з ключових питань при моделюванні є пошук маршрутів, якими здійснюються кореспонденції. Взагалі алгоритми пошуку найкоротших маршрутів між вузлами мережі давно відомі [44]. Однак, іноді виникає питання щодо критерію, за яким визначати найліпші маршрути. Часто таким критерієм є витрати часу на пересування дугами мережі. Але ці витрати, в свою чергу, залежать від рівня завантаження дороги рухом. [45]. Особливо це питання загострюється на ділянках, де спостерігається схильність до заторових ситуацій. Крім того, іноді виникає така ситуація, коли між вузлами мережі існує декілька альтернативних маршрутів, “вартість” проїзду якими майже однакова, отже одна частина кореспонденції між районами реалізується одним маршрутом, а інша – другим маршрутом [46].

Деякі автори нехтують ситуацією, коли частина кореспонденції реалізується альтернативними маршрутами. Часто дослідники не згадують про міський маршрутний транспорт, хоча інтенсивність його руху становить певну частку від інтенсивності потоку на ділянці, а параметри руху не підпадають під запропоновані моделі розподілу потоків на мережі. Очевидно, що інтенсивність руху маршрутного транспорту не повинна враховуватись при обліку значень інтенсивностей та при побудові моделі транспортної мережі.

3.2 Існуючі методи отримання матриці кореспонденцій

Окрім безпосереднього отримання матриці кореспонденцій через анкетні опитування [47] існують методи, які передбачають розрахунок матриці кореспонденцій через відомі значення обсягів відправлення і прибуття автомобілів у кожному транспортному районі. [39, 42-46]. Однак, в багатьох випадках точно виміряти обсяги відправлення і прибуття автомобілів важко з технічного погляду, оскільки для цього треба підрахувати кількість автомобілів, які в'їжджають в район та виїжджають з району на кожному в'їзді та виїзді з району протягом певного періоду часу та відокремити ті автомобілі, які проїхали через даний район транзитом. Очевидно, що для цього потрібно реєструвати номери транспортних засобів, що дуже ускладнює роботу обліковців при ручному обліку або потребує дорогої апаратури [48], яка може автоматично та швидко розпізнавати цифри на номерних знаках.

Отже, більш придатними до практичного застосування можуть виявитися методи, які в якості вихідних даних застосовують значення інтенсивностей транспортних потоків на ділянках мережі.

Одна зі спроб застосувати гравітаційну модель описана в [49, 50], де автори намагаються “підібрати” значення обсягів відправлення і прибуття автомобілів у транспортних районах таким чином, щоби, по-перше, розраховані значення кореспонденцій відповідали б гравітаційній моделі, а по-друге, розрахункові значення інтенсивностей потоку на ділянках, отримані через цю матрицю, збігалися б з виміряними реальними значеннями:

$$\Delta = \sum_{(x,y) \in A} \left(\lambda_{xy} - \sum_{i,j \in M_{xy}} \alpha_i \cdot \beta_j \cdot e^{-k t_{ij}} \right)^2 \rightarrow \min_{\alpha_i \beta_j k}, \quad (3.1)$$

де x, y - відповідно номер початкового та кінцевого вузла дуги;

λ_{xy} – реальне значення інтенсивності потоку на дузі $x \rightarrow y$, авт./год;

i, j – відповідно райони, між якими здійснюється кореспонденція,

A – множина дуг графа транспортної мережі;

M_{xy} - множина пар (i, j) , маршрути руху між якими проходять через ділянку $x \rightarrow y$;

α_i - коефіцієнт, який залежить від обсягу відправлення з вузла i ;

β_j - коефіцієнт, який залежить від обсягу прибуття у вузол j .

Однак, автори цього методу не навели способу розв'язання вищевказаної задачі та не зробили перевірки методу на реальних даних. Крім того виникають сумніви щодо правильності такого підходу, оскільки задача в такій математичній постановці може мати декілька варіантів рішення.

У тісному зв'язку з гравітаційними моделями стоять так звані “ентропійні”. Оскільки інформації про інтенсивності потоків на ділянках недостатньо, щоби однозначно розрахувати матрицю кореспонденцій, існує деяка “невизначеність”, інакше кажучи, ентропія [51, 52].

Деякі дослідники пропонують використовувати математичний апарат нечіткої логіки для задачі знаходження найкоротших відстаней між вузлами транспортної мережі та для задачі прогнозування розподілу транспортних потоків на мережі [52]. Це дозволяє враховувати непередбачуваність дій окремих водіїв. Однак, труднощі з використанням апарату нечіткої логіки виникають при моделюванні складних систем, оскільки виникають труднощі зі складанням правил фаззифікації та створення таблиць взаємодії нечітких величин. Крім того, застосування нечіткого підходу у порівнянні зі стохастичним не призводить до підвищення точності розрахунків [53].

3.3 Залежність величини кореспонденції від типів транспортних районів

У наведених вище моделях не враховується тип транспортного району. Однак, кожен район міста, або окремий транспортний район мають свої певні особливості щодо утворення та поглинання транспортних потоків. Різні транспортні райони можна класифікувати на спальні райони, промислові зони, ринки, вокзали тощо. Наприклад, очевидно, що в ранковий піковий період кореспонденція від спальних районів до промислових зон більша, ніж у зворотному напрямку. При розрахунку матриці кореспонденцій пропонується типи транспортних районів враховувати через коефіцієнти.

Наприклад, у випадку використання гравітаційної моделі за формулою (3.2) функцію тяжіння (3.3) можна доповнити коефіцієнтом k_{tij} (табл. 3.1). Значення коефіцієнтів k_{tij} , які наведені в табл. 3.1, є гіпотетичними. Визначення точних значень цих коефіцієнтів потребує подальших досліджень.

Таблиця 3.1 – Врахування типу транспортного району через коефіцієнт k_{tij}

Тип транспортного району відправлення	Тип транспортного району прибуття					
	Спальний район	Промислова зона	Вокзал	Ринок	Бізнес-центр	Одноповерхові приватні будинки
Спальний район	0,5	1,4 вранці 0,3 ввечері	1	1,2 вранці 0,9 ввечері	1,2	0,4
Промислова зона	1,4 ввечері 0,3 вранці	0,4	0,7	0,1	0,6	1
Вокзал	1	0,7	0,1	0,5	0,5	1
Ринок	0,9 ввечері 1,2 вранці	0,1	0,5	0,1		1
Бізнес-центр	1,2	0,7	0,5	0,3	1	0,2
Одноповерхові приватні будинки	0,1	1	1	1	0,2	0,1

$$H_{ij} = HO_i \frac{HP_j \cdot p_{ij} \cdot k_j}{\sum_{i=1}^m HP_j \cdot p_{ij} \cdot k_j}, \quad (3.2)$$

де HO_i – обсяг відправлення з i -го пункту, авт/год;

HP_j – обсяг прибуття в j -й пункт, авт/год;

p_{ij} – функція тяжіння між i -м та j -м пунктами;

k_j – балансувальний коефіцієнт.

$$p_{ij} = k_{tij} \cdot L_{ij}^{-1}, \quad (3.3)$$

де L_{ij} - відстань між вузлами i та j .

3.4 Залежність величини кореспонденції від відстані між транспортними районами

Якщо проаналізувати існуючі моделі розрахунку матриці кореспонденцій, наприклад, гравітаційну модель, то можна побачити, що величина кореспонденції в них залежить, окрім інших факторів, від відстані між транспортним районом, де утворюється певна кореспонденція, та транспортним районом, де ця кореспонденція поглинається. Встановлено, що ця залежність має зворотній характер. У найпростіших варіантах гравітаційної моделі “сила тяжіння” розраховується так [42, 46]:

$$p_{ij} = L_{ij}^{-1} \quad (3.4)$$

Деякі автори вважають, що ця залежність має квадратичний або експоненційний характер [43, 51]

$$p_{ij} = L_{ij}^{-2}, \quad (3.5)$$

$$p_{ij} = e^{-L_{ij}}. \quad (3.6)$$

Враховуючи те, що зазвичай водії автомобілів вибирають найкоротший маршрут не за критерієм найменшої відстані, а за критерієм мінімуму витрат часу, то коефіцієнт тяжіння розраховують за формулою

$$p_{ij} = T_{ij}^{-1}. \quad (3.7)$$

Недоліки вказаних вище підходів полягають у тому, що найбільша “сила тяжіння” між транспортними районами буде у тому разі, якщо ці райони будуть розташовані поруч один з одним. Однак, очевидно, що у випадку занадто малих відстаней між районами (приблизно до 0,5...1,0 км.) використовувати автомобіль недоцільно. Припустимо також, що існує певне значення відстані поїздки, на яке найчастіше пересуваються автомобілі. Таким чином, у пропонованому методі функція тяжіння матиме такий вид

$$f(L_{ij}) = e^{-\frac{(L_{ij}-b)^2}{c}}, \quad (3.8)$$

де b – найбільш ймовірна відстань, на яке здійснюються кореспонденції

c – коефіцієнт, що показує, наскільки відстань поїздки впливає на кількість кореспонденцій, здійснюваних на дану відстань

Орієнтовний узагальнений вигляд функції тяжіння показано на рис. 3.1

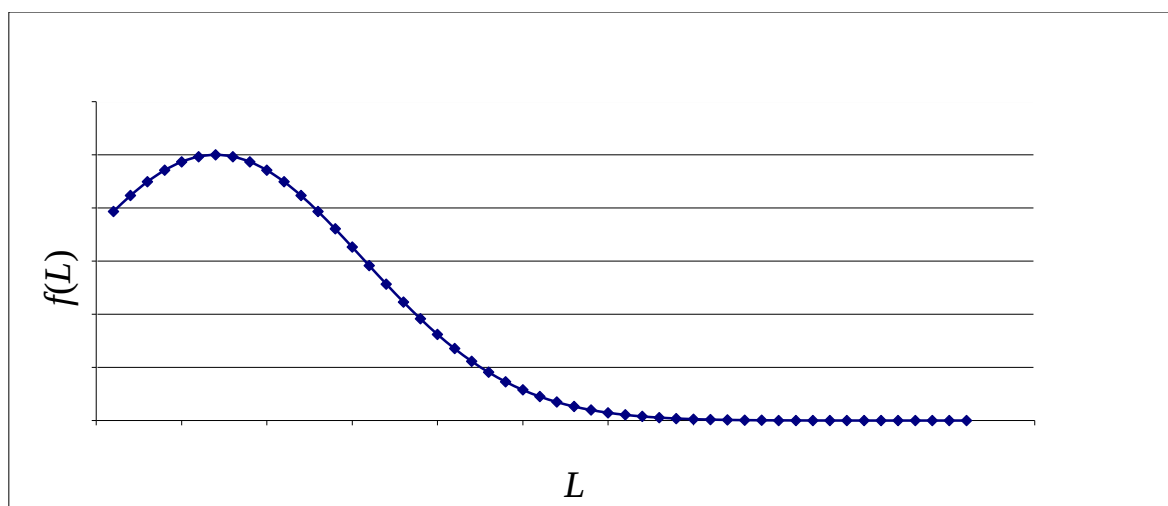


Рисунок 3.1 – Врахування впливу відстані, на яку здійснюється кореспонденція

3.5 Послідовність розрахунку матриці кореспонденцій

Пропонуємо метод розрахунку матриці транспортних кореспонденцій, який у

якості вхідних даних потребує значення інтенсивностей транспортних потоків на ділянках мережі, знання топології мережі та особливостей транспортних районів. Послідовність основних етапів розрахунку показана на рис. 3.2. Для заданого міста або району досліджень треба створити модель транспортної мережі та розрахувати матрицю кореспонденцій. Для цього, як було сказано раніше, ми розділяємо місто на окремі транспортні райони. Рекомендації щодо мікрорайонування можна знайти в [40, 47]. Паралельно визначаємо тип кожного транспортного району та розраховуємо матрицю коефіцієнтів k_{tij} .



Рисунок 3.2 - Послідовність розрахунку матриці кореспонденцій

Наступним етапом формується модель вулично-дорожньої мережі у вигляді плоского графу. Для автоматизації цієї роботи можна використовувати електронні карти міста. Визначається пропускна спроможність кожної ділянки мережі.

Після цього за допомогою натурних обстежень визначаємо інтенсивності транспортних потоків на ділянках мережі. Рекомендується використовувати автоматизовані методи [41, 43], наприклад, пристрої на основі аналогових відеокамер та комп'ютерної техніки із програмним забезпеченням, що дозволяє розпізнавати зорові образи (в даному випадку силуети автомобілів). На цьому етапі слід врахувати, що рух маршрутного транспорту має такі особливості у порівнянні з приватними автомобілями як заздалегідь визначений маршрут. Тобто, водії маршрутних транспортних засобів не можуть на свій розсуд вибирати найкоротші маршрути поїздки.

Наступним етапом є визначення сукупності найкоротших маршрутів. Як показує досвід [42], маршрути слід визначати за критерієм мінімуму витрат часу на пересування.

Оскільки інтенсивність транспортного потоку на кожній ділянці дорівнює сумі кореспонденцій, маршрути яких проходять цією ділянкою, то для подальших розрахунків необхідно визначити для кожної ділянки мережі, які саме кореспонденції проходять по цій ділянці.

$$N_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{(m)} \cdot H_{ij}, \quad (3.9)$$

де $k_{ij}(m)$ - коефіцієнт, що визначає, чи проходить маршрут кореспонденції H_{ij} по дузі m .

Якщо кореспонденція H_{ij} проходить дугою m , то $k_{ij}(m) = 1$, інакше $k_{ij}(m) = 0$. Можуть виникнути ситуації, коли для здійснення кореспонденцій з вузла i до вузла j є декілька конкуруючих маршрутів, витрати часу на пересування якими майже однакові. Тому одна частка кореспонденції здійснюється за одним з маршрутів, а інша частка – за конкурентним. У такому випадку коефіцієнт $k_{ij}(m)$ може відрізнятись від 1.

Оскільки рівняння (3.9) можна скласти для кожної ділянки мережі, то для мережі у цілому отримуємо систему рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{(1)} \cdot H_{ij} = N_1 \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{(2)} \cdot H_{ij} = N_2 \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{(m)} \cdot H_{ij} = N_m \end{array} \right. \quad (3.10)$$

Очевидно, що така система рівнянь має безмежну кількість рішень, оскільки у загальному випадку кількість невідомих значень кореспонденцій більша за кількість рівнянь (кількість ділянок мережі). Отже серед цієї безлічі рішень слід вибрати таке, яке відповідає дійсності.

Для цього ми використовуємо інформацію про типи транспортних районів та відстані між ними. Припускаємо, що транспортні кореспонденції між районами розподіляться пропорційно коефіцієнтам, які враховують тип транспортного району (табл. 3.1) та функції тяжіння (3.8). І серед рішень системи (3.10) вибираємо таке, яке б найбільше відповідало такому розподілу.

Таким чином, маємо цільову функцію

$$Z = \sum_i \sum_j \left(\left| \frac{k_{ij} \cdot f(L_{ij})}{\sum_i \sum_j (k_{ij} \cdot f(L_{ij}))} - \frac{H_{ij}}{\sum_i \sum_j H_{ij}} \right| \right) \rightarrow \min \quad (3.11)$$

Розв'язуючи задачу математичного програмування із системою обмежень (3.10) та цільовою функцією (3.11) ми отримуємо значення кореспонденцій.

4 НОВА ПАРАДИГМА В ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСТАХ

Нова парадигма в теорії руху транспортного потоку, згідно теорії систем, це безупинна зміна його стану, що у спрощеній формі являє собою змінну (вектор) і разом із вхідною інформацією (інтенсивністю чи швидкістю) цілком визначає динаміку транспортного потоку. Якщо розглядати транспортний потік сам по собі, без вхідної інтенсивності чи швидкості, то знання стану потоку в i -й момент часу (разом зі знанням структури і параметрів) достатньо для того, щоб передбачити його майбутній рух.

Таким чином, поняття стану є основним і фундаментальним поняттям і може бути сформульованим як «даний стан транспортного потоку в момент часу t_0 і усі вхідні величини (інтенсивність чи швидкість), які визначені для часу t_0 і далі, цілком визначають поведінку транспортного потоку при всіх $t > t_0$ ».

Будемо розрізняти згідно з [50-55] наступні види станів.

Нульовий стан, що відповідає відсутності руху транспортного потоку й характеризується двома видами:

- а) порожня дорога;
- б) затор.

І в тому, і в іншому випадку $N(t) = 0$, $V(t) = 0$.

Сталий стан транспортного потоку, при якому інтенсивність у будь-якому перетині і швидкість на будь-якій ділянці дороги залишаються незмінними протягом як завгодно тривалого проміжку часу, тобто

$$\frac{dV}{dt} = 0; \quad \frac{dN}{dt} = 0; \quad \frac{dQ}{dt} = 0. \quad (4.1)$$

Це сталий режим руху транспортного потоку по вулично-дорожній мережі при постійних значеннях інтенсивності з постійною швидкістю.

Стан рівноваги, який є різновидом зазначених вище станів, коли відсутні зміни інтенсивності, швидкості, дороги й однакові керуючі впливи водіїв.

Оскільки в реальному транспортному потоці завжди мають місце флуктуації інтенсивності і швидкості, різні елементи міських вулиць і доріг і різні керуючі впливи водіїв, то стан рівноваги може бути стійким чи хитливим.

Періодичний стан, що найбільш властивий міському руху на вулично-дорожніх мережах з модульованою довжиною перегону й ізольованим регулюванням. У результаті рух потоку періодично зупиняється. Розрахунки, пов'язані з визначенням транспортного стану вулично-дорожньої мережі, будемо виконувати за допомогою схем заміщення, складених з однотипних ідеалізованих елементів (графів зв'язку), що відображають найбільш характерні властивості елементів мережі, незалежно від їх дійсного призначення. Кількісна характеристика цих властивостей дається числовими значеннями параметрів

Ефективне використання положень теорії станів транспортного потоку в практичних цілях стає можливим тільки в тому випадку, коли теоретичні уявлення набувають конкретного і точного характеру в кількісній формі. При цьому досягнута повнота кількісної інформації, достатньої для технічних застосувань, коли кожна з величин, важливих для транспортного процесу, буде визначена, як функція аргументів, що характеризують рух транспортного потоку. Нині кількісні співвідношення вивчаються достатньо енергійно, але в основному числовими методами на основі експериментальних спостережень.

Хоча результати числового рішення виражають великий обсяг корисних знань, але вони не визначають внутрішніх причинно-наслідкових зв'язків, що характеризують транспортний потік. Розрізнені окремі експериментальні залежності, що пов'язують одну з одною окремі змінні (інтенсивність швидкості, інтенсивність – кількість ДТП, швидкість – інтервали та ін.), не з'єднані загальним рівнянням, більше не можуть привести до повної і виразної картини, тим паче, що вони характеризують тільки те місце, де спостерігалися. Проте числові методи можуть бути істотно посилені за допомогою інших засобів дослідження, які ґрунтуються на аналізі фізичного механізму транспортного потоку, що приводять до важливих

співвідношень, які не вдається одержати іншими засобами. Як показує досвід, синтез цих співвідношень і даних числового розв'язання або експерименту є надзвичайно плідним [53, 55].

Для визначення кількісних співвідношень замінимо звичні змінні потоку транспорту величинами комплексного типу, які складені з тих самих змінних, але в певних поєднаннях, що залежать від природи транспортного потоку. Комплексні змінні згідно з [53-55] є узагальненими змінними.

Для більш повної характеристики станів руху транспортного потоку визначимо можливі критерії при оцінці умов руху в просторі і в часі. Охарактеризуємо транспортний потік всіма вище одержаними параметрами і змінними. Такий підхід дозволить одержати найбільший різновид кількісних співвідношень. Врахуємо:

- протяжність смуги руху x , км; $[L]$;
- час руху T , год.; $[T]$;
- швидкість потоку V , км/год.;
- щільність потоку Q , авт./км;
- кількість потоку λ , авт.; $[A]$;
- інтенсивність N , авт./год.;
- потужність руху M , авт. км/год.; $[A][T]^{-2} [L]$;
- кількість руху D , авт. км; $[A][L]$;
- роботу потоку H , авт. км/год.;
- динамічний габарит S , км/авт.;
- інерційність потоку J , авт. год./км;
- напруженість руху C , км год./авт, $[L][T][A]^{-1}$;
- габаритна довжина автомобіля l_a , м;
- прискорення автомобіля a , м/с, $[L][T]^{-2}$.

Тепер інтенсивність транспортного потоку на одній смузі визначимо, як функцію вищезгаданих величин

$$N=f(x, T, V, Q, M, D, H, S, J, C, l_{cp}). \quad (4.2)$$

Узагальнюючи, знайдемо інтенсивність в просторовому уявленні

$$N_{np} = \frac{\lambda V}{x} f\left(\frac{TV}{x}, \frac{Qx}{\lambda}, \frac{Mx}{\lambda V^2}, \frac{D}{\lambda x}, \frac{H}{\lambda V}, \frac{S\lambda}{x}, \frac{JV}{\lambda}, \frac{C\lambda V}{x^2}, \frac{ax}{V^2}, \frac{l_a}{x}\right). \quad (4.3)$$

У часовому уявленні замість базового параметра x необхідно прийняти час T , тому ряд критеріїв зміниться. Так,

$$N_t = \frac{\lambda}{T} f\left(\frac{x}{VT}, \frac{QVT}{\lambda}, \frac{MT}{\lambda V}, \frac{D}{\lambda VT}, \frac{H}{\lambda V}, \frac{S\lambda}{VT}, \frac{JV}{\lambda}, \frac{C\lambda}{VT^2}, \frac{aT}{V}, \frac{l_a}{VT}\right). \quad (4.4)$$

Змінивши основні величини на інерційність J , напруженість C і швидкість V , одержимо наступну функціональну залежність інтенсивності від інших параметрів і змінних потоку

$$N_{np} = V \sqrt{\frac{J}{C}} f\left(\frac{T}{\sqrt{CJ}}, \frac{x}{V \sqrt{JC}}, Q \sqrt{\frac{C}{J}}, \frac{M}{V} \sqrt{\frac{J}{C}}, \frac{D}{x^2} \sqrt{\frac{J}{C}}, \frac{H}{Vx} \sqrt{\frac{J}{C}}, S \sqrt{\frac{J}{C}}, \frac{a \sqrt{CJ}}{V}, \frac{l_a V}{\sqrt{CJ}}\right) \quad (4.5)$$

У рівнянні (4.5) з'явилися нові критерії, відмінність яких від попередніх полягає в тому, що щільність потоку Q представлена відношенням $\sqrt{J/C}$.

Таким чином, застосування методу узагальнених змінних дозволяє одержати не тільки кількісну оцінку різних ділянок вулиць і дорогий з позиції безпеки і ефективності дорожнього руху, але і визначити критерії для управління дорожнім рухом, які є основою алгоритмів управління в реальному масштабі часу. Рекомендуються вказані нижче алгоритми.

Розрахунок інтенсивності в j -перетині за спостереженнями на першому перетині

$$N_{ij} = \frac{N_i V(x_{ij}, t)}{x_j}; \frac{\lambda_i V(x_i, t)}{x_i} = N_i.$$

Поточний аналіз станів дорожнього руху

$$\frac{Q_i TV_i}{\lambda_i} < \Gamma < \frac{Q_j TV_j}{\lambda_j}.$$

Оцінка завантаження вулиць і доріг

$$\frac{M(x_i t)}{Q_i V_i^2}; \frac{l_a}{x_i}; \frac{Ba}{V^2}; \frac{\lambda_i(x_i t)}{\lambda_m}.$$

Управління рухом груп автомобілів

$$\frac{J_i}{J_{on}} = \frac{\lambda_i / V_i}{\lambda_{on} / V_{on}}; \frac{Q_{on} x_s}{\lambda_{on}}; \frac{V_i}{\lambda_i} \leq J_{on} \leq \frac{V_{oo}}{\lambda_{on}}.$$

Виявлення заторів з порушення безперервності потужності потоку

$$\frac{(n-1)\{\min[M(x_{i,j},t)]_{j=1}^n\}}{\sum_{j=1}^n M(x_{i,j},t) - \min[M(x_{i,j},t)]_{j=1}^n},$$

де n – число смуг руху,

j – номер смуги.

Оцінка продуктивності дорожнього руху

$$\frac{D_i(\lambda_{j=1}, x_i)}{\lambda_i x_i}; \frac{H_i(\lambda_{j=1}, x_i, t)}{\lambda_i V_i}.$$

Оцінка станів безпеки:

- з дистанції $\frac{S_{on,i}\lambda_i}{x_i}$;
- з напруженості $\frac{CV(x_i, t)}{x_i^2 / \lambda_i(x_i)}$;
- з шуму прискорень $\frac{a_i x}{V_i^2}; \frac{V(x_i, t)}{V_0(x_i t)}; \frac{Q(x_i, t)}{Q_m(x_i, t)}$.

Показник координації управління в АСУД

$$\frac{\beta_i(x_i, t)}{\beta_n(x_i, t)} = \frac{L_i V_i(x_i, t)}{L_n V_n(x_i, t)} \leq 1.$$

Кількість і тип алгоритмів залежить від вибраної стратегії управління.

5 ФОРМАЛІЗАЦІЯ КОНТУРНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ У МІСТАХ

Сучасний стан транспортної системи України не в повній мірі задовольняє вимогам національної економіки для ефективного впровадження курсу розвитку України та інтеграції національної транспортної мережі у європейську транспортну систему. У Національній транспортній стратегії України на період до 2030 р. [56] серед пріоритетних напрямів визначено питання створення конкурентоспроможної та ефективної транспортної системи, де управлінню дорожнім рухом (ДР) приділяється найбільша увага.

Накопичений всесвітній досвід створення та експлуатації систем управління дорожнім рухом (СУДР) свідчить, що розробка заходів у галузі проектування СУДР дозволяє отримати наступні результати: зменшення транспортних затримок – 15-40 %; підвищення пропускної спроможності ВДМ – 10-15 %; зменшення кількості ДТП – 15-20 %; зменшення забруднення навколишнього середовища – 20-25 % [57]. Саме тому розробка основ СУДР є доцільним та актуальним питанням при розробці контурного управління у містах. Для цього було вирішено задачу формалізації контурного управління транспортними потоками (ТП) у містах.

Задачу контурного управління ТП було формалізовано з математичної точки зору, при виконанні умов координації:

- сформульовано мету управління – визначено в аналітичному вигляді функціонал, який обрано критерієм якості управління;
- визначено систему обмежень, що відображає діапазон зміни параметрів об'єкта управління;
- визначено обмеження параметрів, що характеризують вулично-дорожню мережу (ВДМ), режим світлофорного регулювання і координоване управління рухом, які забезпечують і не порушують можливі стани системи управління.

Модель узгодженого програмного координованого управління в аналітичному вигляді представлено відношенням

$$A = f(t, x, R), \quad (5.1)$$

де A – програма координації;

t – час доби;

x – функція початкових характеристик транспортного потоку і умов руху;

R – функціонал характеристик управляючих впливів системи світлофорних об'єктів на магістралі.

Програму координації надамо як багатомірний вектор, компонентами якого є параметри транспортних потоків і дорожніх умов руху. Функція характеристики транспортного потоку і умов руху має вигляд

$$x = f(N_{ij}, V, B_{пч}, t), \quad (5.2)$$

де N_{ij} – інтенсивність руху транспортного потоку у j -му напрямку на i -му перехресті магістралі (авт/год);

V – рекомендована швидкість транспортного потоку на магістралі (км/год);

$B_{пч}$ – ширина проїзної частини магістралі (перехрестя і перегону) (м).

Одним із прямих засобів визначення ефективності розрахункових програм координованого управління транспортними потоками є визначення часових затримок транспортних засобів при проїзді по перехрестях магістралі [58].

Затримку транспортних засобів на перехрестях магістралі в загальному вигляді (μ) було визначено функціоналом, який залежить від початкових характеристик транспортного потоку, умов руху і керуючих впливів системи світлофорних об'єктів на магістралі

$$\mu = \sum_{i=1}^h y^i(x, R), \quad (5.3)$$

де h – кількість регульованих перехресть магістралі;

y^i – функція, що визначає затримку транспортних засобів на i -му перехресті магістралі.

З огляду на умови розглянутої задачі, зниження затримок транспортних засобів на магістралі при координованому управлінні, було виявлено як найменше можливе значення функції затримок при наявності умов, за яких ці значення будуть досягатися. Ця задача вирішується за допомогою методів оптимізації [59].

Тоді цільова функція може бути визначена із співвідношення (3) і мати наступний вигляд

$$\sum_{i=1}^h y^i(x, R) \rightarrow \min_{x, R \in \Omega}, \quad (5.4)$$

де Ω – площа допустимих значень параметрів оптимізації.

Граничні умови, що визначають Ω , поширюються на функції, які характеризують параметри транспортного потоку, умови руху і функціонування технічних засобів регулювання дорожнього руху:

– R – функціонал характеристик керуючих впливів, до яких належать:

– $\overline{t_0^i}(\overline{x_1^i})$ – час основних тактів i -го світлофорного об'єкта;

– $\overline{t_n^i}(\overline{x_2^i})$ – час проміжних тактів i -го світлофорного об'єкта;

– $\overline{t_k^i}(\overline{x_3^i})$ – тривалість фаз управління i -го світлофорного об'єкта;

– $\overline{t_{\text{ц}}^i}(\overline{x_4^i})$ – час циклу світлофорного регулювання i -го світлофорного об'єкта;

– $Z^i(t)$ – послідовність фаз у циклі світлофорного регулювання i -го світлофорного об'єкта у момент часу t ;

– $\varphi^i(\overline{x_5^i})$ – зсув включення фаз світлофорного регулювання i -го світлофорного об'єкта;

– V – швидкість транспортного потоку;

– $B_{\text{пч}}$ – ширина проїзної частини.

Тоді багатовимірний вектор параметрів координованого управління має вигляд

$$\bar{R} = \left\{ N_{ij}, \bar{t}_0^i, \bar{t}_n^i, \bar{t}_k^i, t_{\text{ц}}^i, Z^i, \varphi^i, V, B_{\text{пч}} \right\}. \quad (5.5)$$

Сформовані граничні умови задачі оптимізації при двосторонній обмеженості параметрів мають вигляд

$$\Omega: \bar{R}^+ \leq \bar{R} \leq \bar{R}^{++}. \quad (5.6)$$

Граничні умови параметрів оптимізації можливо отримати шляхом розрахунку за значеннями параметрів транспортного потоку, при цьому розмірність даної задачі складає $h \times l$ (h – кількість регульованих перехресть магістралі, l – розмірність вектора $\bar{R}$).

ВДМ сучасного мегаполісу містить магістралі, де можлива реалізація постійної швидкості руху при відповідних керуючих параметрах. Ці ділянки поєднані перехрестями. Точки перетину ділянок відповідно, належить до вузлових перехресть міста. У дослідженні вирішено задачу координації світлофорних пристроїв на перехрестях контуру мережі.

Для вирішення завдання координації роботи світлофорних пристроїв [60] при вирівнюванні швидкості руху транспортних засобів на магістралях контура ВДМ було розроблено імітаційну модель визначення параметрів рівномірного руху АТЗ.

Вхідні параметри моделювання обираються на підставі отриманих результатів побудови геоінформаційної моделі ВДМ (рис. 1):

- n – кількість перехресть;
- m – кількість перегонів;
- X_k, Y_k – координати k -го перехрестя на площині, $k = 1, \dots, n$;
- $L_{EW\ k}, L_{NS\ k}$ – лінійні розміри перехрестя по горизонталі (зі сходу на захід) і вертикалі (з півночі на південь);
- N – інтенсивність транспортних потоків на підходах до перехрестя;

де $l(k,i)$ – допоміжна функція, значення якої дорівнює кількості смуг з боку i -го в'їзду до k -го перехрестя;

r_i – ознака наявності смуг з боку i -го в'їзду на перехрестя.

Поточний або мінімально необхідний час світлофорного циклу на ділянці мережі в локальному режимі визначаємо на підставі значення суми проміжних тактів і максимальних значень коефіцієнта насичення напрямків по фазах

$$T_{\min} = \frac{1,5T_{\pi} + 5}{1 - y_{13} - y_{24}} \leq 120, \quad (5.8)$$

де T_{π} – сума проміжних тактів;

$y_{13} = \max(y_1; y_3)$ – максимальне значення коефіцієнта насичення в напрямку схід-захід (за геоінформаційною моделлю ВДМ);

$y_{24} = \max(y_2; y_4)$ – максимальне значення коефіцієнта насичення в напрямку північ-південь.

На наступному етапі розраховували основні такти світлофорного регулювання. Розрахунок циклу світлофорного регулювання проводили для двофазного режиму функціонування:

$$T_{\min 13} = (T_{\min} - 2T_{\pi}) \frac{y_{13}}{y_{13} + y_{24}}; \quad (5.9)$$

$$T_{\min 24} = (T_{\min} - 2T_{\pi}) \frac{y_{24}}{y_{13} + y_{24}}. \quad (5.10)$$

Перевірка:

$$T_{\min 13} + T_{\pi} + T_{\min 24} + T_{\pi} = (T_{\min} - 2T_{\pi}) \frac{y_{13} + y_{24}}{y_{13} + y_{24}} + 2T_{\pi} = T_{\min}. \quad (5.11)$$

Період регулювання руху по контуру мережі обрано, як максимальний цикл світлофорного регулювання на контурі ВДМ

$$T_{\max} = \max(T_k). \quad (5.12)$$

Для реалізації контурного управління потрібно визначити швидкість руху транспортних засобів на кожному перегоні магістралі, виходячи з розрахункового часу проїзду перегону

$$V = \frac{3,6L}{\Delta t + zT_{\max}}, \quad (5.13)$$

де Δt – час руху по перегону;

z – ціле число.

Визначений баланс часу світлофорного регулювання на магістралях відповідає різниці між значеннями максимального циклу світлофорного регулювання по мережі і циклом регулювання в локальному режимі на певному перехресті (T_i)

$$B_{ki} = T_{\max} - T_{\min i}. \quad (5.14)$$

Тоді до керуючих параметрів руху по контуру ВДМ відносяться:

- O_k – зсув часу включення світлофорного об'єкту на k -м перехресті (с);
- B_k – баланс часу між командним циклом світлофорного регулювання та світлофорним циклом на k -м перехресті;
- V_{CH-CK}, V_{CK-CH} – швидкості руху транспортних засобів на даному перегоні, для забезпечення беззупинного проїзду (км/год).

Організацію контурного управління транспортними потоками на елементах ВДМ для забезпечення рівномірного руху автотransпортних засобів по сусідніх перегонах контуру було формалізовано наступним чином. Для визначення часу руху

по перегону $\Delta t_{C_H-C_K}$ за умовою пропорційності часу прибуття АТЗ на перехрестя контуру ВДМ отримали залежність

$$\Delta t_{C_H-C_K} = t_{C_K} - t_{C_H} + zT_{\max} . \quad (5.15)$$

Тоді швидкість руху визначили відношенням

$$V_{C_H-C_K} = \frac{3,6L_{C_H-C_K}}{\Delta t_{C_H-C_K} + zT_{\max}} . \quad (5.16)$$

Для реалізації задачі контурного управління розроблено комп'ютерну модель визначення керуючих параметрів процесу руху транспортних потоків на контурі вулично-дорожньої мережі.

Отримана формалізація задачі контурного управління ТП на мережі магістралей міста доводить, що відмінною особливістю запропонованого контурного управління є застосування балансу циклів світлофорного регулювання (змінюється в межах $[0; 1]$) та процесу розподілу надлишкового часу світлофорного циклу, який визначається шляхом вирішення задачі оптимізації керуючих параметрів за критерієм вирівнювання швидкостей руху на сусідніх перегонах контуру ВДМ міста [61].

Для налаштування світлофорів транспортної мережі для практичної реалізації на кожному перехресті поставлено у відповідність два параметри. Перший — це зсув фаз, тобто час між включенням дозволяючого сигналу в північно-південному напрямку від командного світлофора до включення дозволяючого сигналу в тому ж напрямку наступного світлофора на магістралі. У гіперпросторовій моделі цей параметр має нормований вигляд (вимірюється від 0 до 1), тобто як частка від $T_{\max}$. Другий — це баланс часу циклів світлофорного регулювання на перехрестях визначається як коефіцієнт, що визначає тривалість включення дозволяючого сигналу в напрямку північ-південь, також вимірюється від 0 до 1. Якщо баланс для даного світлофорного циклу дорівнює 0, то час включення дозволяючого сигналу в північно-

південному напрямку дорівнює мінімальному значенню, а в західно-східному дорівнює часу, що залишився, тобто $T_{\max} - T_{13} - 2T_{\text{П}}$. Якщо ж баланс дорівнює 1, то навпаки – час включення дозволяючого сигналу в північно-південному напрямку максимальний, а в західно-східному - мінімальний. Фактично такий підхід визначає, яким чином розподіляється різниця між максимальним циклом транспортної мережі і поточним циклом даного перехрестя. Тобто, якщо максимальний цикл на мережі 100 с, а за формулами (5.9 – 5.11) були отримані значення дозволяючих сигналів 30 с і 35 с, то мінімальний цикл світлофорного регулювання дорівнює $30 + 35 + 3 + 3 = 71$ с. Оскільки світлофор повинен працювати в загальному циклі, то залишок 29 с було розділено для збільшення тривалості його дозволяючих фаз регулювання. Час в секундах (29 с) множиться на баланс (нормоване число від 0 до 1) і додається до тривалості фази у північно-південному напрямку. Потім 29 с множиться на $(1-B)$ і додається до тривалості фази у західно-східному напрямку.

Для системи управління ДР такий підхід було реалізовано методами багатопараметричної оптимізації [62] у розробленому програмному середовищі, етапи якого наведено на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 – Етапи визначення параметрів контурного управління на ВДМ

Процес забезпечення рівномірного режиму руху автотранспортних засобів на мережі магістралей міста досягається шляхом визначення параметрів координації роботи технічних засобів регулювання дорожнього руху з урахуванням параметрів транспортного потоку і елементів ВДМ міста. Параметри управління на мережі магістралей міста можна умовно розділити на три групи: параметри ВДМ, параметри транспортного потоку і керуючі параметри моделі. Параметри елементів ВДМ приймаємо як незмінні. Точність параметрів ВДМ визначається виключно інструментальною із суб'єктивною похибкою вимірювань. Було припущено, що точність визначення параметрів вулично-дорожньої мережі істотного впливу на ефективність управління дорожнім рухом не має.

Визначення поточних параметрів транспортного потоку є завданням складним і трудомістким. Дані інтенсивності і швидкості транспортного потоку, які були отримані відомими методами вимірювання або натурних спостережень, також мають інструментальну та суб'єктивну похибку. В окремих випадках можливий прояв методичної похибки. Застосування сучасних методів і способів вимірювання параметрів транспортного потоку, заснованих на моніторингу ДР, відеоспостереженні і розпізнаванні образів, впливає на підвищення точності визначення керуючих параметрів дорожнього руху, однак вимог до вибору методу їх визначення немає, тому як вихідні дані параметрів транспортного потоку, отримані в online режимі, вимагають узагальнення до середньогодинних значень.

6 ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРОЕКТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Сучасний стан питання безпеки руху на автомобільних дорогах України виходить за межі національного рівня викликаючи занепокоєння міжнародних інституцій. Причина такого занепокоєння полягає в істотному впливі стану безпеки дорожнього руху на загальнодержавну економіку, спричиняючи значні соціально-економічні збитки як регіональним, так і транснаціональним компаніям. Не зважаючи на очевидну проблему, позиція держави в питанні гарантування безпеки на автомобільних дорогах за роки незалежності України так і не трансформувалась в умовний градієнт, спрямований до «нульової аварійності».

Принциповою особливістю національного механізму забезпечення безпеки дорожнього руху являється відсутність чіткої мети власної діяльності, що «розмиває» зусилля і ресурси, задіяні в процесі.

Особливої уваги заслуговує проблема відсутності понятійного апарату (глосарія) та основних дефініцій (тезауруса) в державній системі забезпечення безпеки дорожнього руху. Зазначена проблема спричиняє варіативність тлумачень специфічних термінів, неоднозначне розуміння окремих особливостей процесів і явищ в питаннях дорожнього руху. Слід зазначити, що коло проблем організації дорожнього руху сформувало окремий, самостійний, прикладний, науковий напрям. Проте відсутність єдиної специфічної дефініції в організації дорожнього руху продовжується вже декілька десятиліть. Так, наприклад, такі принципові поняття як «організація дорожнього руху», «регулювання дорожнього руху», «безпека дорожнього руху», «ефективність дорожнього руху» тощо не мають єдиного визначення і тлумачиться різними науковцями і фахівцями по-різному. Наприклад, поняття «організація дорожнього руху» було вперше розтлумачено Кузнецовим Л. А., як «сукупність заходів, які спрямовані на упорядкування руху, що забезпечує його чіткість, зручність і безпеку». Відоме тлумачення поняття «організація дорожнього руху» запропоноване Клінковштейном Г. І. ще у минулому столітті як «комплекс діяльності, спрямований на забезпечення швидкості і безпеки

руху». Пізніше зазначений автор визначив: «організація дорожнього руху – інженерно-технічні і організаційні заходи щодо створення на існуючій вулично-дорожній мережі умов для достатньо швидкого, безпечного і зручного руху транспортних засобів і пішоходів».

Закордонна практика організації дорожнього руху свідчить також про відсутність єдиного визначення цього терміну, а відповідно може припускати різну мету і способи забезпечення ключової мети.

У питання організації дорожнього руху мають пріоритетне значення. Усього є 3 стадії розробки проектної документації з ОДР: «загальні» схеми організації дорожнього руху, «вторинні» зональні схеми організації дорожнього руху та "ситуаційні" схеми організації дорожнього руху. Мета складання «загальних» схем ОДР для міста – вироблення єдиної політики у сфері ОДР з урахуванням вимог щодо поточних та майбутніх проектів розвитку міста, проектування доріг та маршрутних систем з урахуванням просторових та кількісних аспектів зростання та зайнятості населення, зростання автотранспорту, науково-технічного прогресу. При цьому розробляються загальні (для всього міста) схеми організації руху, у яких визначається стратегічне функціонування всієї вулично-дорожньої мережі міста в частині процесів організації дорожнього руху з урахуванням довгострокового зростання міста та транспортної інфраструктури. Термін, який зазвичай розробляються загальні схеми організації руху, становить - 15-20 років. При здійсненні розробки загальних схем організації руху зазвичай (за сучасних умов) використовуються імітаційне моделювання, що забезпечують оцінку альтернативних варіантів загальних схем організації руху. Проводиться дослідження сценаріїв альтернативних видів розвитку ВДМ міста та ОДР, та вибір найбільш відповідного варіанту загальної схеми організації руху здійснюється з урахуванням факторів загального процесу містобудівного розвитку міста.

У транспортній політиці США задекларовано, що формування ефективної та безпечної транспортної системи є основою для зміцнення суспільства, забезпечення доступу до робочих місць, громадських та державних служб, торгових центрів, а також підтримує та підвищує конкурентоспроможність країни на міжнародному

ринку. Для реалізації цього положення всі штати повинні проводити постійну, всеосяжну та спільну роботу з формування транспортних стратегій, планів організації транспортного процесу, що забезпечує ефективне та економічне переміщення людей і вантажів на всій території, включаючи великі міста та мегаполіси.

Основи транспортного планування та організації руху регулюються низкою положень федерального законодавства. Так, кодифікована збірка федерального законодавства – Кодекс Сполучених Штатів англ. (United States Code, U.S.C., далі за текстом - Кодекс США) [63] містить такі розділи, в яких сформульовані основні положення в частині формування політики організації руху та формування транспортних систем: Розділ 23 «Магістральні дороги», відділ 134 «Транспортне планування великих міст» та підрозділ 135 "Транспортне планування штату" (розділ 23 Highways, Section 134 Metropolitan transportation planning, Section 135 Statewide transportation planning) визначають політику, основні цілі, завдання, основи формування стратегії, порядок фінансування програм та планів щодо організації транспортного процесу на відповідних територіях.

Основні принципи транспортного планування та організації руху, сформульовані у федеральному законодавстві США.

Перший принцип — це підтримка та стимулювання безпечної та ефективної організації, функціонування та розвитку систем наземного транспорту, які задовольнятимуть потребам у переміщенні людей та вантажів та сприятимуть економічному зростанню та розвитку, як усередині штату, так і між штатами, урбанізованими територіями (великими містами та мегаполісами), забезпечувати мінімізацію пов'язаного із здійсненням транспортного процесу споживання палива та забруднення повітря за рахунок процесу транспортного планування та організації дорожнього руху.

Другий принцип — це забезпечення постійного процесу вдосконалення та еволюційного розвитку процесів транспортного планування на територіях великих міст і штатів, що виконуються відповідними проектними організаціями, департаментами транспорту штату, компаніями - операторами громадського транспорту.

Далі США для реалізації конкретних проектних і технічних рішень застосовуються кодекси чи керівництва усталеної практики. Такі посібники розробляються з урахуванням регулярно проведених досліджень, аналізу статистичних даних про дорожній рух, аналізу та оцінки реалізованих управлінських рішень.

Інший характерний підхід до розробки проектної документації з організації дорожнього руху можна розглянути на прикладі Австралії [64], де також надається велике значення питанням організації дорожнього руху, які покладено у повноваження муніципальних органів влади. Усі заходи пов'язані з організацією дорожнього руху розробляються в рамках актів, спрямованих на розвиток територій, наприклад, у Північній адміністративній території (що включає 6 штатів та 2 території) розробляється Акт з планування всієї території та Інструкція з планування території міської забудови Північної території. У вигляді окремого документа документація не оформляється.

Схеми організації дорожнього руху випускаються безпосередньо після концептуальної стадії як робочого проекту організації дорожнього руху. Робочий проект по ОДР поданий заявником має відповідати наступним вимогам:

- схема ОДР повинна містити вступну інформацію (опис концепції та принципів проектування, розрахункова швидкість для кожного типу доріг, опис причин такої організації руху);

- схема ОДР повинна виконуватися в масштабі, відображаючи всі суттєві існуючі деталі, включаючи: існуючі перетину та найближчі в'їзди для автотранспорту, існуюча схема руху, існуючі об'єкти сервісу, що впливають на схему руху, існуюча дорожня розмітка, існуючі дерева;

- повинен бути представлений план передбачуваних дорожніх робіт (каналізування руху), виконаний у масштабі, на якому мають бути зазначені необхідні розмірні лінії, лінії розмітки із зазначенням їх ширини, межі відповідальності муніципальної влади міста, де настають зони відповідальності інших місцевих властей, межі землевідведення та споруд;

- може бути подана інша інформація, яка є необхідною для муніципальної ради для правильної оцінки.

Масштаб 1:250 є рекомендованим для креслень перетинів, масштаб 1:500 рекомендується для робіт, що характеризуються ділянкою великої протяжності. Географічне спрямування північ має вказуватися усім кресленням. Якщо роботи планується проводити на/поруч із перехрестям, слід наводити повну схему перехрестя із зазначенням всіх опор. Креслення у масштабі 1:250 та 1:500 оформляються згідно з типовим шаблоном, прийнятим для міста (у плані титульного оформлення та нумерації та мають містити логотип міста). У кресленнях повинні міститися існуючі та заплановані елементи, а саме: а) існуючі межі та лінії бордюрного каменю; б) дорожнє полотно; в) дорожня розмітка (існуюча розмітка, яка залишається незмінною і нова розмітка з усіма розмірами). Тонкими пунктирними лініями слід виділяти розмітку, яка буде видалена; г) дорожні знаки, у тому числі знаки для паркування, знаки покажчики найменування вулиць і т.д., д) електроколонки і оглядові ями, колодязі; е) світлофорні об'єкти. 5. Має бути представлена мапа району.

Представлена на розгляд документація з ОДР повинна містити:

- одну копію креслень на прозорій плівці;
- три копії формату A1 на папері;
- електронну цифрову версію на цифровому носії.

У Європі, США та розвинених країнах Азії проектна документація з ОДР узгоджуються, як правило з муніципальними органами влади; запити щодо встановлення дорожніх знаків — з міською адміністрацією. Запропоноване місце розміщення дорожніх знаків має відповідати умовам міської політики щодо встановлення таких знаків. Після отримання схваленої схеми, організація, яка подає заявку, повинна передати на погодження іншим органам управління екземпляри з такою схемою організації руху. Такі органи можуть включати: округ, міську адміністрацію та Департамент транспорту штату. Після отримання погодження від усіх відповідних органів, як може знадобитися вище, буде видано припис щодо організації дорожнього руху та знаки будуть встановлені. Організація, яка здійснює

встановлення знаків та нанесення розмітки, виконає такі роботи відповідно до вимог, зазначених у схемі. Будь-які подальші зміни у схемі організації дорожнього руху також вимагають погодження з Головним інженером міста перед внесенням пропонованих змін до схеми організації дорожнього руху. Вимоги до технічних засобів організації дорожнього руху в рамках проектів, що фінансуються містом, перераховані в стандартній контрактній документації міста.

У Новій Зеландії схеми розміщення технічних засобів організації дорожнього руху узгоджуються з місцевою владою, дорожнім контролюючим органом та дорожньою поліцією. При цьому поліція наділена повноваженнями самостійно вносити зміни до вже існуючої схеми організації руху шляхом зняття, встановлення або заміни технічних засобів організації дорожнього руху, у випадках, якщо, на їхню думку, це сприятиме підвищенню безпеки дорожнього руху або усунення небезпечних ситуацій шляхом запобігання ситуаціям, які можуть бути подвійними. зрозумілі водіями, заміни пошкоджених технічних засобів організації дорожнього руху, їх перевстановлення відповідно до нормативних вимог. При цьому вони повинні обов'язково повідомити дорожні контролюючі органи про проведені ними зміни у розстановці технічних засобів організації дорожнього руху.

Важливим аспектом узгоджень документації з ОДР є екологічний. Наприклад, у США, процес розгляду та узгодження проектної документації з ОДР включає оцінку впливу на зовнішнє середовище, з обов'язковою оцінкою соціальних, економічних та екологічних факторів впровадження обраної схеми. Проведення такої оцінки має бути завершено до початку реалізації схеми ОДР. При цьому сторона, яка висуває пропозицію (або підвідомча організація, відповідальна за проект), має надати таку інформацію, де вказана мета проекту, оцінка впливу проекту та/або його варіантів на зовнішнє середовище, надане обґрунтування цього проекту, з додатком, де наведено оцінки впливу на зовнішнє середовище, оцінки соціальних, економічних та екологічних факторів впровадження обраної схеми.

Вся документація, складена в ході всього процесу оцінювання, повинна включати чітке пояснення прийнятої методології з обов'язковим зазначенням певних припущень, зроблених при оцінюванні та підготовці проектної документації.

Згідно з рекомендаціями, що розглядаються, дуже важливий момент про відсутність особливих, чітко регламентованих процедур для виконання таких оцінок, так як кожен проект унікальний. Повинні застосовуватися прийнятні методи або поєднання методів, що забезпечують можливість виконання адекватного аналізу зовнішніх впливів, альтернатив, потенційного впливу на навколишнє середовище та заходів щодо пом'якшення такого впливу. Такі методи мають надавати можливість проведення порівнянь, кількісних оцінок та компромісних рішень.

Таким чином у закордонній практиці організації дорожнього руху впроваджена вимога оцінки впливів на різні складові природного середовища і різних складових забезпечення людської життєдіяльності.

Повертаючись до вітчизняного законодавства, насамперед необхідно відзначити, що дефініція «організація дорожнього руху» взагалі відсутня, а закон України про дорожній рух, зокрема Стаття 27, навіть не містить тлумачень основних термінів зі сфери безпеки дорожнього руху [65]. Така практика ускладнює правовідносини, через те, що поняття, які застосовуються у нормативно-правовій документації допускають варіативність і суб'єктивізм тлумачень.

Фундаментальною проблемою забезпечення якісних рішень при організації дорожнього руху є розбалансованість і недосконалість нормативно-правової бази на різних рівнях: національному, регіональному, місцевому. Зазначена розбалансованість посилилась після структурних реформ спеціальних органів, задіяних в національному механізмі забезпечення безпеки дорожнього руху, зокрема структурних підрозділів органів МВС України. Наприклад, в результаті зазначених реформ окремі повноваження і обов'язки зі створення, експлуатації і розвитку елементів дорожньо-транспортного комплексу були делеговані місцевим органам виконавчої влади, іншими словами відбулась певна децентралізація в питанні організації і безпеки дорожнього руху, однак нормативно-правова база концептуально залишається незмінною. Це спричинило невизначеність вимог до процесів, починаючи від планування заходів і закінчуючи підрядними роботами і експлуатацією об'єктів.

Важливою прогалиною в процесі забезпечення безпеки дорожнього руху є морально застаріла нормативна база. Окремі документи, що висувають вимоги до застосування технічних засобів організації дорожнього руху розроблялись ще в минулому столітті, а наприклад ДСТУ 4092 [67] застосовується без змін вже впродовж п'ятнадцяти років за умови значного технічного і технологічного стрибка в управлінні транспортними потоками.

Введений вперше документ, що визначає вимоги до проектної документації з організації дорожнього руху [68] установлює правила розроблення, побудови, оформлення та вимоги до змісту проекту організації дорожнього руху, а також основні умовні графічні позначки технічних засобів організації дорожнього руху, що застосовують на схемах і планах автомобільних доріг загального користування, вулиць і доріг міст та інших населених пунктів.

ДСТУ 8752 поділяє процес проектування схем організації дорожнього руху на інженерно-вишукувальні і камеральні, а також проектні роботи.

Проект організації дорожнього руху (проект ОДР) згідно ДСТУ 8752 - це документ, розроблений та погоджений у встановленому порядку, який містить пояснювальну записку, схему організації дорожнього руху та необхідні кресленики й відомості, які доповнюють цю схем. Вимоги до такого документу наведені нижче.

Пояснювальна записка до проекту ОДР має містити:

- вихідні дані для проектування відповідно до технічного завдання;
- перелік нормативних та інших документів, на які є посилання в проекті ОДР;
- загальну характеристику ділянки дороги (вулиці);
- обґрунтування доцільності прийняття рішень щодо обмежень у дорожньому русі, не передбачені правилами застосування ТЗОДР [69];
- пропозиції щодо застосування ТЗОДР;
- вимоги щодо забезпечення охорони праці та довкілля під час виконання робіт з ОДР;
- інформацію щодо ДЗІП;
- додатково використані умовні позначки, не регламентовані самим стандартом.

Пояснювальна записка розділу ОДР в проектах на будівництво, ремонт дороги (вулиці), об'єкти дорожнього сервісу має містити:

- пропозиції щодо застосування ТЗОДР;
- інформацію щодо ДЗПІ;
- додатково використані умовні позначки, не регламентовані самим стандартом.

Додатково використані умовні позначки допустимо позначати безпосередньо на схемі ОДР.

Схему ОДР у паперовому вигляді має розміщуватись на аркушах форматів, установлених ГОСТ 2.301. Рекомендовано застосовувати формати А3 або А.4.

Схему ОДР має виконуватись в масштабі 1:1000 у вигляді плану ділянки дороги. Схему ОДР має бути складено в масштабі 1:500 або крупнішому (за потреби) для таких об'єктів:

- транспортних розв'язок у різних рівнях, транспортних розв'язок доріг в одному рівні кільцевого типу та інших зі складною ОДР;
- транспортних розв'язок зі світлофорним регулюванням (на окремому аркуші);
- об'єктів дорожнього сервісу з охопленням підходів до них завдовжки не менше ніж 150 м та 300 м у населених пунктах і поза ними відповідно;
- ділянок доріг (вулиць) у межах населених пунктів довжиною до одного кілометра з насиченим розташуванням ТЗОДР тощо.

Схему ОДР потрібно виконувати за напрямком кілометражу дороги (зростання нумерації будинків вулиці) без розривів із зазначенням ширини проїзної частини на кожному кілометрі та в місцях її зміни. Ділянки доріг (вулиць) з кривими в плані, крім кривих на перехрестях, дозволено відображати на схемі ОДР умовно спрямленими.

На кожному аркуші схема ОДР має містити назву проекту, назву дороги (вулиці), масштаб, номер аркуша та загальну кількість аркушів.

Схему ОДР у вигляді плану ділянки дороги, де умовними позначками та (за наявності) додатково наведеними у пояснювальній записці до проекту ОДР відображають:

- кілометрові дорожні знаки в місцях наявного їхнього розміщення;

- місця розташування ТЗОДР із зазначенням відстані від кілометрового знаку (у метрах);

- напрямки головної дороги та напрямки маршрутів на транспортних розв'язках відповідно до схеми маршрутного орієнтування;

- штучні споруди (типи штучних споруд, їхнє місцезнаходження (зазначають відстань від кілометрового знаку в метрах до початку споруди, довжину та габарити), водопропускні труби (зазначають відстань від кілометрового знаку в метрах до осі споруди);

- опори штучного освітлення і зв'язку та інші конструктивні елементи, які потребують застосування відповідних ТЗОДР для забезпечення безпеки руху;

- початок та кінець ділянки дороги (км + м), що є на аркуші;

Лінійний графік основних конструктивних елементів ділянки дороги (вулиці), який має відображати її основні геометричні параметри:

- ширину проїзної частини й узбіччя (у метрах);

- радіуси кривих у плані та їхню довжину (у метрах);

- величину поздовжніх похилів (у проміле) та їхню довжину (у метрах);

- межі кривих у плані та поздовжньому профілі (зазначають відстань від кілометрового знаку у метрах);

- межі населених пунктів, через які проходить дорога (зазначають назву та відстань від кілометрового знаку в метрах);

- тип покриття;

- висоту насипу (у метрах) та крутизну його укосів (праворуч, ліворуч);г) таблиці ТЗОДР, зазначених на аркуші.

Окрім зазначених вимог до схем організації дорожнього руху в стандарті містяться вимоги до виконання польових, камеральних робіт, а також до процедури впровадження і внесення змін до схем ОДР. Важливим є те, що стандарт не містить жодних інших вимог, які стосувались би вимог до якості проектних саме рішень, а не до кінцевого документу.

Необхідно зауважити, що в [70] міститься положення, яке передбачає доречність використання імітаційного моделювання для оцінки прийнятих рішень

при зміні планування окремих елементів вулично-дорожньої мережі. Жодних інших нормативних документів, які б містили вимогу до обов'язковості виконання оцінки рішень, що приймаються при розробці проектів організації дорожнього руху, в Україні не має.

На підставі викладеного можна стверджувати, що оцінка якості проектів організації дорожнього руху представляє собою актуальну і важливу задачу для підвищення безпеки і ефективності дорожнього руху в Україні. Таку оцінку можливо б було виконувати на підставі оцінки ефективності функціонування елементів ВДМ за допомогою комплексного показника ефективності функціонування елементів ВДМ методом таксономічного аналізу [71].

При цьому можливо застосувати різномірні показники, наприклад: витрати часу на перегоні ВДМ (хв.), транспортні витрати на проїзд ТП по перегону ВДМ (грн./авт./км), середня швидкість руху по перегону (км/год.), викиди забруднюючих речовин (г/хв.), шум прискорення (c^2), коефіцієнт зниження швидкості. Отримані значення показників ефективності функціонування перегонів та перехрестя ВДМ можливо об'єднати в узагальнюючу оцінку ефективності елементу ВДМ методом «радару». При визначенні комплексного показника ефективності функціонування перегону ВДМ визначається матриця спостережень з подальшою процедурою стандартизації, що призводить до усереднення одиниць вимірювання:

$$A = \|t_{ik}\|_{hn}, \quad (6.1)$$

де n – кількість окремих показників;

h – кількість перегонів ВДМ, для яких розраховані окремі показники;

t_{ik} – значення окремого показника k для перегону i .

При наступній диференціації ознак матриці спостережень всі параметри розподіляються на стимулятори і дестимулятори, для побудови еталону ефективності, який являється точкою P_0 з координатами: $(z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0i}, \dots, z_{0n})$ де $z_{0s} = \max z_{rs}$, якщо $s \in I$, $z_{0s} = \min z_{rs}$, якщо $s \notin I$ ($s = 1, 2, \dots, n$), де I – множина стимуляторів; z_{rs} – стандартизоване

значення параметру s для перегону ВДМ r . Для отримання узагальнюючого показника оцінки ефективності введення зміни швидкісного режиму на перегоні ВДМ запропоновано застосувати метод побудови «радару» в оцінному колі. На підставі отриманих значень на наступному етапі будується радар оцінки ефективності елементу ВДМ, приклад якого наведено на рис. 6.1 і, який визначає узагальнюючий показник ефективності функціонування елементу ВДМ.

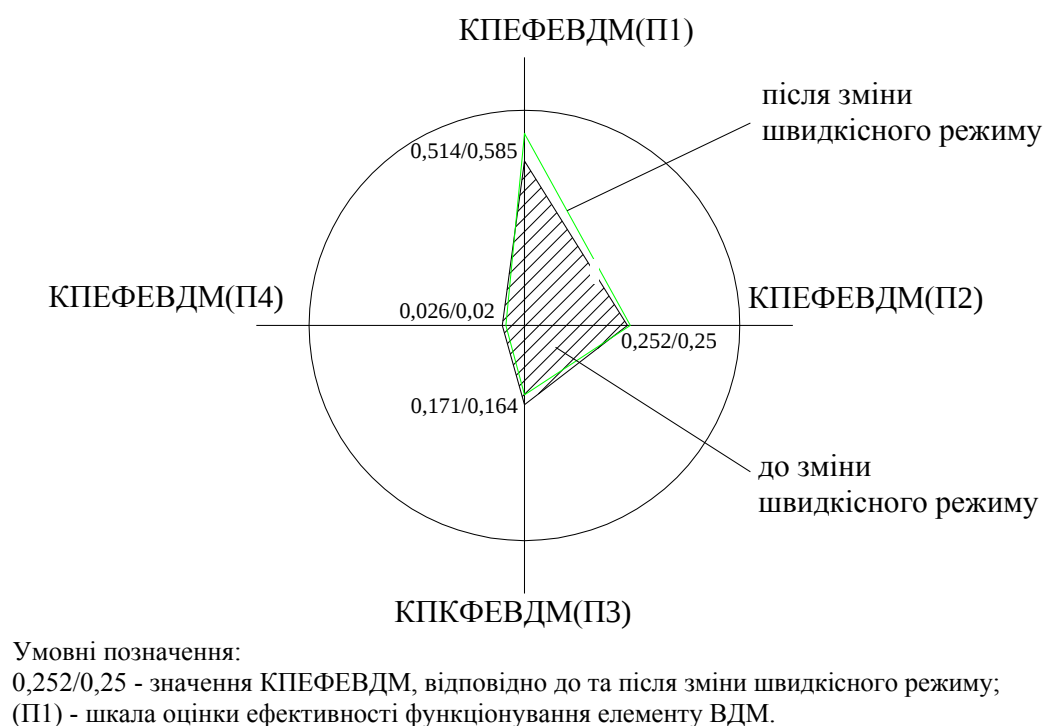


Рисунок 6.1 – Радар оцінки ефективності функціонування елементу ВДМ до і після зміни організації дорожнього руху (приклад – зміна швидкісного режиму)

На підставі відносної площі радару (Э) для досліджуваної ділянки вулично-дорожньої мережі до і після впровадження змін організації дорожнього руху і пропонується виконувати оцінку проектних рішень. Основним для всіх концепцій якості прийняття рішень є різниця між рішенням та його результатом. Вони відрізняються через невизначеність при виборі – високоякісне рішення все одно може призвести до поганого результату і навпаки. В умовах невизначеності особа, яка приймає рішення, має лише контроль над рішенням, але не контролює результату зовнішніх обставин. Отже результат рішення не дозволяє оцінити його якість.

7 ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ НА ЕЛЕМЕНТАХ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

Дорожній рух в силу сукупності причин, особливо в останні три десятиліття, супроводжується значними соціальними, економічними та екологічними негативними наслідками. У дорожньо-транспортних пригодах (ДТП) щорічно гинуть сотні тисяч людей, десятки тисяч отримують поранення. Швидкість руху в періоди «пик» знижується до 5 ... 10 км/год, дискредитує саму ідею, закладену в автомобіль при його створенні – економія часу доставки вантажів і пасажирів в результаті високої швидкості повідомлення. Однак розуміння необхідності негайного втручання людини в цей процес, що розвивається, дозволило сформулювати в загальному вигляді напрямки щодо вирішення цієї проблеми: визначення причинно-наслідкової взаємодії транспортних систем з природою і суспільством для розробки і реалізації заходів щодо досягнення необхідної ефективності транспортного процесу при виключенні негативних наслідків. Загальні вимоги до системи керування рухом або системи організації безпечного дорожнього руху (ОБДР) полягає в мінімізації часу на здійснення транспортного процесу за умови дотримання безпеки руху.

Стрімке зростання автомобільного парку і об'єму перевезень веде до збільшення інтенсивності руху, що в умовах міст з історично сформованою забудовою призводить до виникнення транспортної проблеми та збільшенню дорожньо-транспортних пригод. В цьому випадку зростання ролі громадського транспорту є однією з основних можливостей підвищення ефективності функціонування всієї транспортної системи. Однак функціонування системи громадського транспорту вимагає відповідального формування інфраструктури та створення необхідних умов руху транспортних засобів громадського транспорту та загального потоку з позиції ефективності та раціональності.

Окремої уваги заслуговують місця організації зупинок громадського транспорту та їх види за планувальним та організаційним рішенням, оскільки в цих місцях виникають умови маневрування та переважно повинні бути створені умови

для руху пішоходів, що здійснює суттєвий вплив на безпеку та швидкість. Безпека на зупиночних пунктах є одним з головних пріоритетів функціонування об'єкту на ВДМ міста, бо на цих об'єктах відбуваються контакти між транспортом та пішоходами пасажирами, які є найбільш вразливими учасниками руху. Також функціонування зупинок транспорту не повинно здійснювати суттєвий негативний вплив на пропускну здатність ділянок ВДМ. І зупинки повинні забезпечувати якість транспортного обслуговування.

Дана робота присвячена обґрунтуванню підходу до підвищення ефективності дорожнього руху на ділянках ВДМ середніх та великих міст з наявними зупинками громадського транспорту за рахунок визначення вимог та формування системи керування рухом на основі застосування теоретично обґрунтованих критеріїв вибору ефективних організаційних та планувальних заходів.

7.1 Вибір критерію і методів кількісної оцінки ефективності рішень з ОДР

Авторами досліджень [71-76] запропоновані різні критерії для оцінки ефективності функціонування транспортних систем. В якості критеріїв, за якими можливі розрахунки кількісних показників пропонуються економічні критерії, критерії безпеки дорожнього руху та екологічної складової безпеки, критерії стійкості функціонування ВДМ.

Велика кількість конкретних завдань і ситуацій, з якими стикаються при проведенні проектних робіт на ВДМ, зумовлюють використання цілого набору кількісних показників. Досить повне уявлення про склад показників, що застосовуються в практиці ОДР наведені в [74].

Відповідно до задачі розробки методики для оцінки ефективності комплексу заходів щодо підвищення ефективності функціонування ВДМ застосовується комплекс критеріїв і відповідних показників (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Склад критеріїв та показників, що застосовуються для оцінки ефективності проектних рішень на ВДМ

Критерій	Кількісні показники
Затримка і довжина черги	Середня затримка
	Сумарна затримка
	Максимальна затримка
	Довжина черги
Пропускна здатність	Щільність ВДМ
	Ємність ВДМ
Транспортна робота ВДМ	Сумарні витрати часу з урахуванням маршрутів руху і інтенсивностей ТП на цих маршрутах
Екологічна безпека	Сумарний викид окису вуглецю за одиницю часу
	Сумарний викид оксидів азоту за одиницю часу
	Рівень транспортного шуму
Безпека дорожнього руху	Зниження числа постраждалих в ДТП
	Ризики ДТП - сумарне конфліктне завантаження ВДМ
Економічний ефект	Інтегральний економічний ефект - сума ефектів за весь період порівняння;
	Індекс прибутковості - відношення суми ефектів до загальної величини одноразових витрат;
	Термін окупності - мінімальний інтервал часу від початку розрахункового періоду, за межами якого інтегральний ефект стає невід'ємним
Стійкість функціонування ВДМ	Коефіцієнт стійкості
Рівень обслуговування на ВДМ	Коефіцієнт обслуговування - відношення інтенсивності руху до пропускної спроможності
	Обсяг обслуговування

Тривалість середньої затримки частіше застосовується як критерій оптимізації управління на локальній ділянці – окремий перетин, зупинка ГПТ тощо. Середня затримка тісно корелює з інтенсивністю руху, циклами світлофорного регулювання та довжиною черги. Точність методики розрахунку величини середньої затримки має принципову важливість, так як на основі величини середньої затримки оцінюється довжина черг, визначається сумарна затримка. У спеціальній літературі для практичних розрахунків величини середньої затримки рекомендується формула Вебстера. Сумарною затримкою називають затримку всіх транспортних засобів за певний період і використовується для оцінки економічної ефективності функціонування ВДМ міста в цілому або окремого міського району, в той час як середня затримка більше характеризує якість обслуговування для кожного окремо взятого транспортного засобу.

Відносно до ВДМ міста в цілому ситуація неоднозначна і існує досить багато різних позицій і поглядів. У містобудівній практиці найчастіше використовується показник щільності ВДМ в поєднанні з нормативним визначенням вимог до вулиць різних категорій. При цьому мається на увазі, що виконання нормативних вимог щільності ВДМ вже дозволяє забезпечити достатню пропускну здатність. Деякі проектні організації використовують показник ємності ВДМ – максимальної кількості транспортних засобів, які одночасно можуть перебувати в русі на розглянутій території.

Фахівці в області ОДР найчастіше пов'язують вичерпання пропускну здатності ділянки з появою затору. Однак на практиці застосування і цього підходу не дає однозначного методу розрахунку, тому що спочатку вимагає визначити допустиму кількість заторів, протяжність, тривалість та інші параметри.

Під показниками екологічної безпеки розуміють, як правило, сумарний викид окису вуглецю і оксидів азоту за одиницю часу, а також еквівалентний рівень транспортного шуму на відстані 7,5 м від краю проїзної частини. Існуючі транспортні моделі в більшості випадків дозволяють здійснювати оцінку масових викидів від транспорту – як в міських умовах, так і для заміських доріг.

Ефективність заходів щодо підвищення безпеки руху полягає, в першу чергу, в зниженні втрат від дорожньо-транспортних пригод, які діляться на три групи: втрати, пов'язані зі смертю і пораненнями людей, залучених в ДТП; матеріальний збиток від пошкодження транспортних засобів, дороги і дорожніх споруд, вартість пошкоджених вантажів; громадський збиток – витрати, пов'язані з порушенням нормальних умов руху в зоні транспортної пригоди, витрати органів контролю, судів і прокуратури.

Стійкістю ВДМ називають її властивість не зменшувати свою пропускну здатність в результаті повного або часткового виключення з транспортного процесу окремих її елементів [76]. Причинами таких відмов можуть бути ДТП, аварії інженерних комунікацій, масові заходи тощо.

Показники рівня обслуговування розраховуються з використанням елементів теорії масового обслуговування і, як правило, вимагають складних обчислень. Тому

частіше використовують різні варіанти коефіцієнта обслуговування

$$k = \frac{N}{P}, \quad (7.1)$$

де N – інтенсивність надходження вимог;

P – інтенсивність обслуговування вимог.

Даний показник відповідає вимогам, що критерій повинен бути зрозумілим для широкої аудиторії, повинен встановлюватися як в результаті обстежень, так і розрахунків. Показник отримав назву «рівень обслуговування» і визначається як «якісна характеристика, яка відображає такі сукупні фактори, як швидкість руху, час поїздки, свободу маневрування, безпеку та зручність керування автомобілем» [71]. Цитовані визначення майже в незмінному вигляді містяться у виданнях посібника з оцінки пропускної здатності Highway Capacity Manual [74, 77] (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 Градації рівнів обслуговування та рівнів зручності

Рівень обслуговування	Коефіцієнт завантаження	Характеристика умов руху	Рівень зручності	Рівень завантаження	Характеристика умов руху
A	<0,1	вільний потік	A	<0,2	вільний
B	>0,1	стійкий потік	Б	0,2-0,45	частково зв'язаний
C	>0,3	стійкий потік	B	0,45-0,7	зв'язаний
D	>0,7	наближення до нестійкого	Г-а	0,7-1,0	насичений
E	>1,0	нестійкий потік	Г-б	>1,0	щільно насичений

Рівень обслуговування в країнах Європейського регіону та в США є основним критерієм оцінки якості ОДР та був включений до нормативних документів. Нині можна говорити про систему показників рівня обслуговування. У виданні НСМ [74] запропоновано показники LOS для більшості елементів ВДМ. Природно, що для кожного виду руху (транспорт, пішоходи тощо) та кожного типу елементів ВДМ (перегони, перехрестя, тротуари, пішохідні переходи тощо) використовуються свій певний показник та відповідний метод його визначення. Таким чином, умови руху

транспортних засобів, пішоходів та інших користувачів можна оцінювати на різних елементах ВДМ одним критерієм – показником рівня обслуговування (або рівня зручності).

До сфери застосування показників LOS відносять [78]:

- аналіз на стадії управління та експлуатації – визначення рівня обслуговування за заданих дорожніх та транспортних умов, розробка заходів ОДД, проектування;
- аналіз на стадії проектування ОДД – оцінка транспортного обслуговування за середньо- та довгострокових прогнозів, визначення розрахункових параметрів транспортних споруд, що забезпечують задану якість обслуговування;
- на стадії планування – оцінка якості обслуговування при довгострокових прогнозах та стратегічному плануванні розвитку транспортних систем.

В роботі [79] підкреслено, що якщо розглядати ВДМ як систему масового обслуговування, то в проектах ОДР оцінку мережі і її окремих елементів можна звести до двох наступних показників: пропускна здатність – максимальна кількість заявок, які може обслужити мережу; рівень обслуговування – якість обслуговування заявок.

Фактори, що формують рівень завантаження ВДМ, мають комплексний характер і викликані сукупними діями ряду різноспрямованих причин. Відповідно і вжиті заходи повинні мати комплексний характер і вимагають системного підходу: до соціально-економічного планування розвитку територій, до містобудівного та транспортного планування, організації та управління дорожнього руху і дорожнім будівництвом (рис. 7.1)

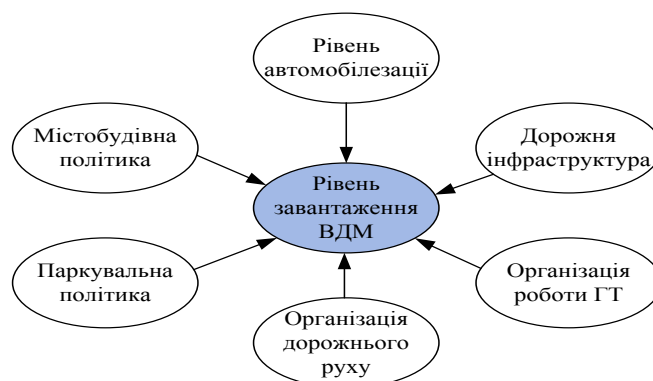


Рисунок 7.1 – Фактори, що формують рівень завантаження ВДМ

7.2 Методика експерименту визначення пропускної здатності зупинок

Експеримент матиме пасивний характер, тобто він заснований на реєстрації вхідних та вихідних параметрів, що характеризують об'єкт дослідження, без втручання в експеримент у процесі його проведення. Обробка експериментальних даних здійснюється лише після закінчення експерименту. У загальному випадку планування та організація експерименту включають наступні послідовно виконувані етапи:

- постановка задачі (визначення мети експерименту, виявлення вихідної ситуації, оцінка допустимих витрат часу та коштів, встановлення типу завдання);
- збір апріорної інформації про досліджуваний об'єкт (вивчення літератури, опитування фахівців тощо);
- вибір способу вирішення та стратегії його реалізації (встановлення типу моделі, виявлення можливих факторів, що впливають, виявлення параметрів, вибір цільових функцій);
- перевірка обраного способу вирішення завдання (попередні експерименти з метою перевірки експериментальної установки та методики, а також попередньої оцінки якості моделі);
- реалізація обраного способу вирішення задачі;
- аналіз та інтерпретація результатів.

Метою експериментальних досліджень є натурне визначення пропускної здатності зупинкових пунктів. Виходячи з мети експериментальних досліджень, визначено основні завдання, які полягають у натурному визначенні параметрів, що входять до розрахункових формул з визначення пропускної здатності зупинки (інтенсивність руху автобусів; інтенсивність руху транспортного потоку на сусідній смузі за наявності заїзної кишені, на зупинці або на смузі в якій рухається автобус за умови відсутності заїзної кишені; кількість пасажирів, що вийшли та ввійшли) – фіксація часу прибуття автобуса на зупинку, часу відкриття та закриття дверей, а також час відходу автобуса зі зупинки; фіксація параметрів світлофорного

регулювання), фіксації основних параметрів зупинкового пункту (наявність/відсутність заїзної кишені; ширина заїзної кишені; довжина зупинки; ширина проїзної частини), обробці результатів експерименту.

Дослідження проводиться у кілька етапів:

- вивчення та опис параметрів зупинкового пункту;
- опис параметрів ділянки ВДМ, на якій розташований зупинковий пункт;
- вимірювання параметрів, необхідних для обчислення пропускної здатності

пункту зупинки обраними методами.

Перший етап включає наступні операції:

- визначення меж зупинкового пункту;
- вимірювання довжини зупинкового пункту;
- вимірювання ширини заїзної кишені (за її наявності);

Другий етап передбачає наступне:

- вимірювання ширини проїзної частини;
- визначення наявності світлофорного регулювання;
- фіксація параметрів світлофорного регулювання (цикл роботи світлофора, час роботи дозволяючого та забороняючого сигналів світлофора).

Третій етап включає в себе фіксацію параметрів, що входять до розрахункових формул з визначення пропускної здатності зупинки:

- час під'їзду автобусу до зупинкового пункту;
- час відкриття дверей;
- кількість пасажирів, що вийшли і ввійшли;
- час закриття дверей;
- час відходу автобусу зі зупинкового пункту;
- розрахунок інтенсивності руху громадського транспорту за період спостереження, а також інтенсивності руху інших ТЗ на сусідній смузі (за наявності заїзної кишені) або безпосередньо на тій, по якій рухається громадський транспорт (за відсутності заїзної кишені).

Потім за допомогою отриманих даних проводимо розрахунок за формулами визначення пропускної здатності зупинного пункту методом, запропонованим в НСМ

[74]. Пропускна здатність зупиночного пункту згідно цієї методики визначається як:

$$B_s = N_{eb} \cdot B_{bb} = N_{eb} \cdot \frac{3600 \cdot g / C}{t_c + \frac{g}{C} \cdot t_d + Z_a \cdot c_v \cdot t_d}, \quad (7.2)$$

де B_s – пропускна здатність зупинкового пункту, од/год;

B_{bb} – пропускна здатність одного машино-місця, од/год;

N_{eb} – коефіцієнт зниження пропускної здатності при наявності на зупинковому пункті декількох місць;

g – час циклу світлофора, с;

C – час роботи дозволяючого сигналу світлофора, с;

t_c – час, що витрачається на відхід з зупинкового пункту, с;

Z_a – коефіцієнт, який враховує можливість відмови автобусу в обслуговуванні;

t_d – час обслуговування пасажирів, с;

c_v – коефіцієнт варіації часу t_d .

$$B_{bb} = \frac{3600 \cdot g / C}{t_c + \frac{g}{C} \cdot t_d + Z_a \cdot c_v \cdot t_d}, \quad (7.3)$$

Умови залежності (7.2) забезпечують максимальну пропускну здатність одного машино-місця та передбачають достатню площу та геометрію зупиночного пункту. Час обслуговування пасажирів t_d – час з моменту повної зупинки транспортного засобу на зупинці до моменту початку руху. На час обслуговування здійснюють вплив різні фактори: місткість транспортного засобу, обсяги пасажирообміну, час посадки та висадки одного пасажиря, технічні характеристики рухомого складу, спосіб сплати за проїзд, середньостатистичне повернення населення району що розглядається тощо.

Значення часу обслуговування пасажирів (час посадки/висадки пасажирів)

визначається за формулою:

$$t_d = t_a \cdot P_a + t_b \cdot P_b + t_{oc}, \quad (7.4)$$

де t_a – час, що витрачається на висадку одного пасажирів, с;

t_b – час, що витрачається на посадку одного пасажирів, с;

P_a – кількість пасажирів, що виходять, пас;

P_b – кількість пасажирів, що входять, пас;

t_{oc} – час, що витрачається на відкриття/закриття дверей, с.

Час посадки/висадки пасажирів пов'язано з кількістю, розмірами та розташуванням дверей. На основі обробки великої кількості статистичних спостережень в керівництві НСМ наведено наступні дані (табл. 7.3).

Таблиця 7.3 – Витрати часу на посадку/висадку пасажирів

Тип транспортного засобу	Наявність дверей		Час посадки, с/пас		Час виходу, с/пас
	кількість	розташування	сплата на вході	сплата на виході	
Автобуси великої місткості	1	Попереду	2	2,6-3	1,7-2
	1	Позаду	2	-	1,7-2
	2	Попереду	1,2	1,8-2	1-1,2
	2	Позаду	1,2	-	0,9
	2	Попереду і позаду	1,2	-	0,6
	4	Попереду і позаду	0,7	-	0,8
Автобуси особливо великої місткості (зчленовані)	3	Попереду, позаду та посередині	0,9	-	0,8
	2	Позаду	1,2	-	-
	2	Попереду і позаду	-	-	0,6
Спеціальні автобуси	6	Попереду, позаду та посередині	0,5	-	0,4
	6	3 подвійних дверей	0,5	-	0,4

Однак, для врахування особливостей рухомого складу громадського транспорту, що є переважним для перевезення пасажирів в обраному районі, необхідно провести додаткові спостереження за втратами часу.

Враховуючи випадкову природу часу простою автобусів на зупинці та змінність

рухомого складу в даній методиці введено коефіцієнт c_v , який розраховується як відношення середньоквадратичного відхилення часу простою автобусів до його математичного очікування. У відповідному джерелі рекомендовано використовувати значення $c_v = 60\%$.

Ймовірність відмови в заявці на обслуговування Z_a – це вірогідність прибуття на місце зупинки, яке зайняте іншим транспортним засобом (ймовірність створення черги). Коефіцієнт Z_a відповідно характеризує ймовірність того, що обслуговування пасажирів може перевищити середнє значення t_d . За умови нормального розподілу часу обслуговування пасажирів, коефіцієнт Z_a розглядається як стандартна нормальна змінна. Значення величини встановлені в таблиці 7.4.

$$Z_a = \frac{t_i - t_d}{\sigma}, \quad (7.5)$$

де t_i, t_d – час посадки/висадки, с;

σ – середньоквадратичне відхилення часу посадки/висадки, с.

Наступним показником, що враховується у посібнику НСМ, є час звільнення зупинки. У величину цього часу закладається затримка, пов'язана з інтенсивністю транспортного потоку на сусідній смузі руху, тому що висока інтенсивність руху транспортних засобів індивідуального користування створює додаткові перешкоди при вибуванні автобусів з зони зупинки.

Розташовані в безпосередній близькості від зупинки регульовані перетини (світлофорні об'єкти) впливають на пропускну здатність. При високій інтенсивності руху відбувається накопичення транспортних засобів при сигналі світлофора, що забороняє рух. В результаті на зупинку автобуси приходять групами, що потребує додаткового місця для їх обслуговування та створює додаткові затримки транспорту.

Таблиця 7.4 – Ймовірність відмови та формування затримки автобусів при звільненні зупинкового пункту

Значення відмови в обслуговуванні		Затримка при звільненні	
Інтенсивність на суміжній смузі, авт/год	Середня затримка, с	Ймовірність створення черги, %	Z_a
100	0	1,0	2,330
200	1	2,5	1,960
300	2	5,0	1,645
400	3	7,5	1,440
500	4	10,0	1,280
600	5	15,0	1,040
700	7	20,0	0,840
800	9	25,0	0,675
900	11	30,0	0,525
1000	14	50,0	0,000

Останнім важливим параметром моделі НСМ є коефіцієнт зниження пропускної здатності залежно кількості місць на зупинці. Наявність кількох місць на зупинці спричиняє взаємні перешкоди між автобусами, збільшення часу посадки/висадки через додаткові переміщення пасажирів, які не знають на якому з місць зупиниться автобус. В результаті зі зростанням кількості місць, пропускна здатність зростає непропорційно до їх числа (табл. 7.5).

Таблиця 7.5 – Ефективність використання місць на зупинках [4]

Кількість місць на зупинці	Розміщення на крайній смузі руху		В кишені	
	Ефективність, %	фактична кількість місць	Ефективність, %	фактична кількість місць
1	100	1,00	100	1,00
2	85	1,85	85	1,85
3	60	2,45	75	2,60
4	20	2,65	65	3,25
5	5	2,70	50	3,75

7.3 Розрахунок пропускної здатності зупинкових пунктів

У методиці НСМ наводиться формула для розрахунку пропускної здатності (7.2). Отже, для визначення пропускної здатності зупинки громадського транспорту встановлено вимоги та норми складових залежності значення складових та підсумкового показника. Значення часу, що витрачається на обслуговування

пасажирів, яке наведено в керівництві НСМ не може бути застосовано для обраних умов руху та умов функціонування типового зупинкового пункту. Тому було проведено додаткове обстеження умов обслуговування пасажирів на зупинці та умов і траєкторій руху автобусів. Обстеження проведено в робочі дні в піковий час ранкового та вечірнього періоду. В результаті отримано діапазон значень $t_d = 5 \div 60$; $t_c = 3 \div 12$. Для визначення пропускної здатності типової зупинки, які досліджуються, використаємо отримані діапазони:

$$- Z_a = 1,645;$$

$$- B_{s1} = 1,0 \cdot \frac{3600}{7 + 0 + 1,645 \cdot 0,6 \cdot 5} = 302.$$

Розрахунки проведено для різних умов функціонування при різних можливих випадках попиту та поведінки. Результати відображено на рисунках 7.2 та 7.3. При цьому, для встановлення впливу зміни окремого показника на результуючий фактор, інші встановлені не змінними.

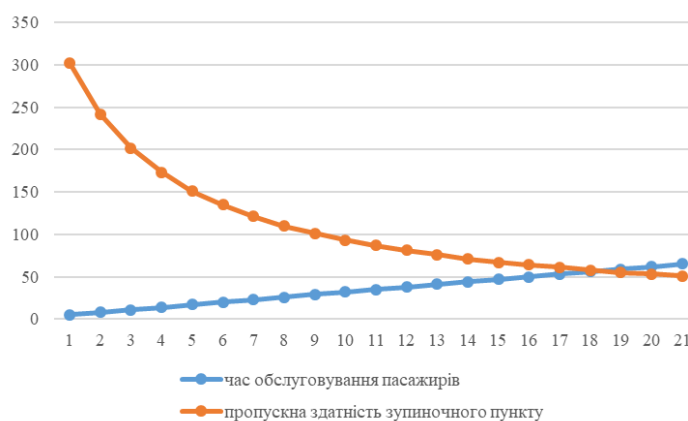


Рисунок 7.2 – Зміна пропускної здатності зупинки від зміни часу обслуговування пасажирів

Для обробки результатів та застосування їх на практиці необхідно порівняти отриману пропускну здатність з інтенсивністю руху громадського транспорту, якщо пропускна здатність нижче, ніж інтенсивність руху громадського транспорту, то

необхідно вжити заходів щодо поліпшення дорожньої ситуації.

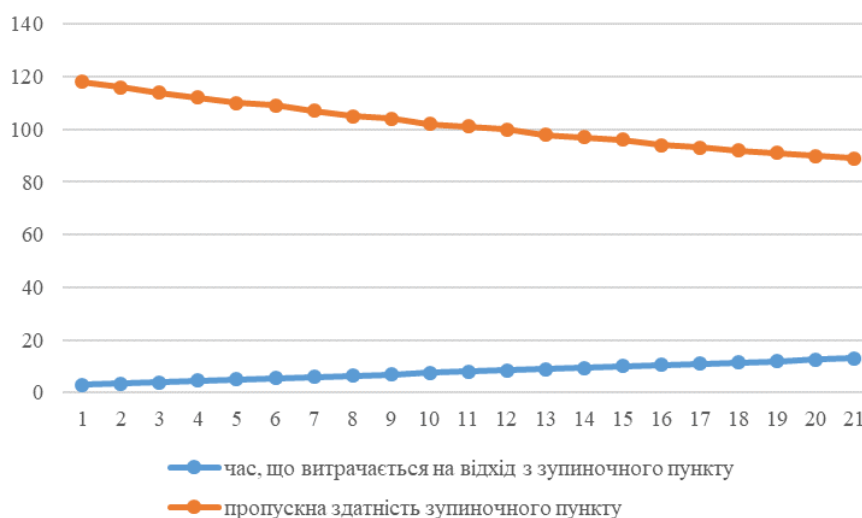


Рисунок 7.3 – Зміна пропускної здатності зупинки від зміни часу, що витрачається на відхід від зупинкового пункту

З цих результатів можна дійти висновку у тому, що пропускна здатність розглянутого зупинкового пункту відповідає реальному рівню завантаження вулично-дорожньої мережі.

8 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ПРИ КРИТИЧНИХ СИТУАЦІЯХ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ

Концентрація основної кількості автомобілів у межах міських територій викликає певні труднощі в організації дорожнього руху та його безпеки. Різке зниження швидкості руху, гострий дефіцит міських територій для організації короткочасної та тривалої стоянки автомобілів, забруднення довкілля, транспортний шум та зростання кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП) є основними негативними наслідками автомобілізації, що характерні для великих міст країни. При цьому науково-технічні прогнози вказують на збереження головної ролі автомобільного транспорту в містах для потреб у перевезенні вантажів і пасажирів, а це в свою чергу, буде сприяти збільшенню негативних наслідків автомобілізації, якщо не будуть вжиті відповідні заходи з підвищення ефективності дорожнього руху.

Для управління транспортними потоками (ТП) на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міста, перевагу має комплексна система управління, що передбачає оперативний зв'язок із міськими службами, наявність відеоспостереження, датчиків контролю автомобільного транспорту, електронні інформаційні табло та дорожні знаки зі змінною інформацією, що вказують водіям альтернативні шляхи та режими руху. Тому перспективним напрямком підвищення ефективності управління дорожнім рухом у містах є наявність у сучасних систем управління дорожнім рухом.

На підставі того, що у процесі дорожнього руху вирішуються задачі управління в критичних ситуаціях (КС), при яких необхідно оптимізувати взаємодію підсистем ДУ (дорожні умови) і ТП (транспортний потік), то і моделі розподілу ТП в КС на ВДМ необхідно розробити для цих ситуацій. В результаті аналізу таких ситуацій згідно [80] для подальшого дослідження було обрано:

- 1) ситуація, коли інтенсивність руху, близька до пропускної спроможності;
- 2) пропуск колон або спецавтомобілів;
- 3) виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП);
- 4) проведення дорожньо-ремонтних робіт;

- 5) несприятливі погодні умови;
- 6) несправність апаратури системи управління.

Для розробки моделей у якості управляючих дій, приймаємо заходи, що вдосконалюють якість руху, а саме:

- 1) заборона поворотів ліворуч та праворуч, розворотів та обгонів;
- 2) примусове розподілення транспортних потоків за напрямком чи траєкторією руху;
- 3) розподілення потоків у часі;
- 4) диференціювання смуг руху для легкових та вантажних автомобілів;
- 5) виділення спеціальних смуг для пасажирського транспорту;
- 6) заборона руху по видам транспортних засобів;
- 7) «спеціалізація» смуг на підходах до перехресть за призначенням подальшого напрямку руху;
- 8) обмеження швидкості руху;
- 9) вирівнювання швидкісного руху за допомогою обмеження верхньої та нижньої межі швидкості;
- 10) оперативне керування швидкістю руху ТП.

При дослідженні ефективності ДР при зміні заходу ОДР основною задачею є управління в критичних ситуаціях, при яких необхідно оптимізувати взаємодію підсистем ДУ і ТП в оперативному режимі.

Наведені КС мають негативний вплив на параметри ТП, а саме призводять до збільшення щільності ТП, що в свою чергу приводить до заторового режиму руху на ділянках ВДМ, а також збільшують ймовірність виникнення ДТП. При застосуванні заходів організації дорожнього руху в КС необхідне проведення експериментальних досліджень.

Проведення експериментальних досліджень на магістралях реальної ВДМ обмежено по ряду причин, основними з яких є високі витрати на реалізацію і, що особливо важливо, вимогами забезпечення безпеки ДР. Тому, для дослідження режимів руху ТЗ на магістралях при критичних ситуаціях, імітаційне моделювання більш ефективно [81]. Основною перевагою імітаційного моделювання є те, що воно

дозволяє досліджувати системи різної складності, в тому числі системи, натурний експеримент для яких не здійснимо з етичних міркувань або експеримент пов'язаний з небезпекою для життя або він вимагає значних капіталовкладень.

Відомі програмні продукти імітаційного моделювання у сфері організації дорожнього руху такі як VISSIM (PTV AG, Німеччина) [82], GETRAM/AIMSUN, Paramics [83]. Існуючі системи моделювання в реальному часі відображають реакцію ТП на обурюючий вплив, який є наслідком обраного заходу ОДР у критичних ситуаціях на ВДМ. Тому для модельного експерименту необхідно розробити імітаційну модель руху ТП на ділянці ВДМ, яка дозволить визначити як параметри руху ТЗ так і показники ефективності дорожнього руху.

Вхідними параметрами імітаційної моделі є:

- 1) довжина ділянок ВДМ, м;
- 2) ширина проїжджої частини, м;
- 3) кількість смуг руху на ділянках ВДМ;
- 4) інтенсивність ТП на вході ділянок ВДМ, авт./год;
- 5) склад ТП;
- 6) наявність зупинок громадського транспорту;
- 7) параметри світлофорного об'єкту (розміщення світлофорів, тривалість циклу і основного такту регулювання в даному напрямку).

Експериментальні дослідження було проведено для найбільш розповсюдженої критичної ситуації – виникнення ДТП на ділянці ВДМ Шевченківського району міста Харків, рис. 8.1.

Адресна прив'язка вузлів наведених на рисунку 8.1 представлена у табл. 8.1.

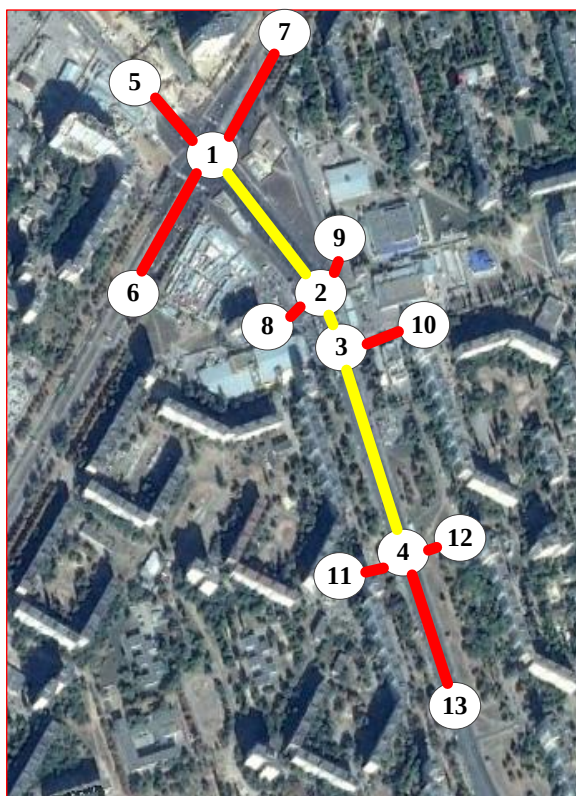


Рисунок 8.1 – Карта-схема об'єкту дослідження

Таблиця 8.1 – Вузли мережі

Номер вузла	Адресна прив'язка (перехрестя вулиць)
1	просп. Перемоги – просп. Людвіка Свободи
2	супермаркет «КЛАСС» – просп. Людвіка Свободи
3	просп. Людвіка Свободи – до новобудов «Жилстрой 1»
4	просп. Людвіка Свободи – 36 АТС

Загальний вигляд імітаційної моделі наведено на рисунку 8.2. та рисунку 8.3. Визначення параметрів ТП для моделі було отримано шляхом натурних спостережень.

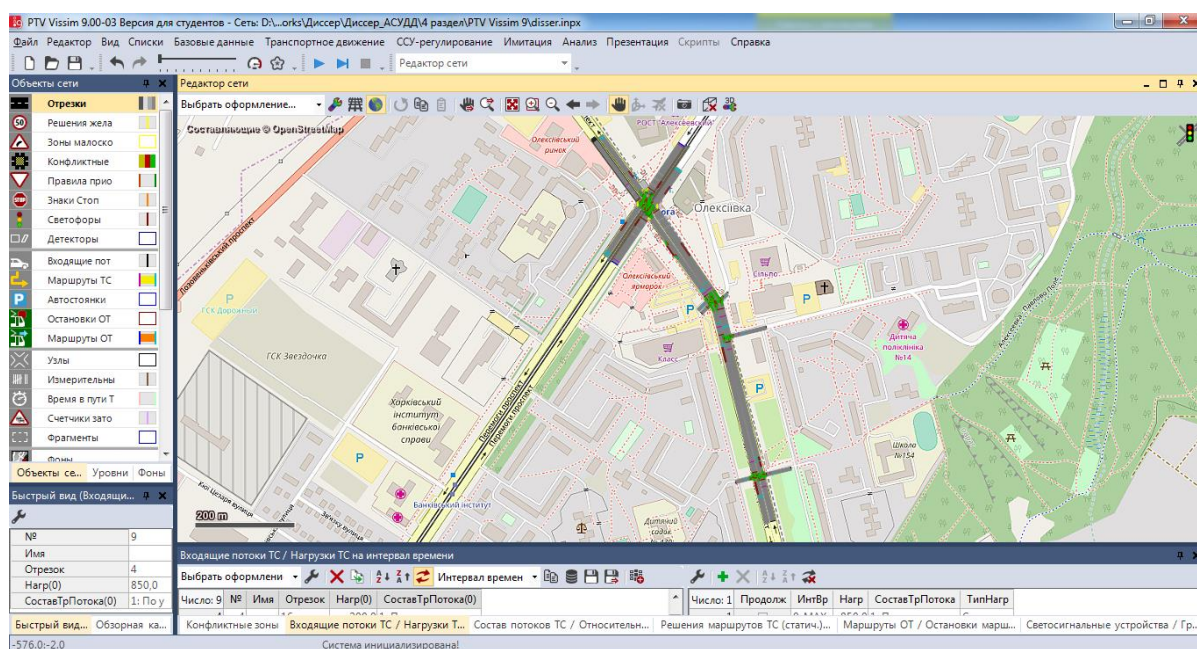


Рисунок 8.2 – Імітаційна модель частини ВДМ Шевченківського району м. Харків

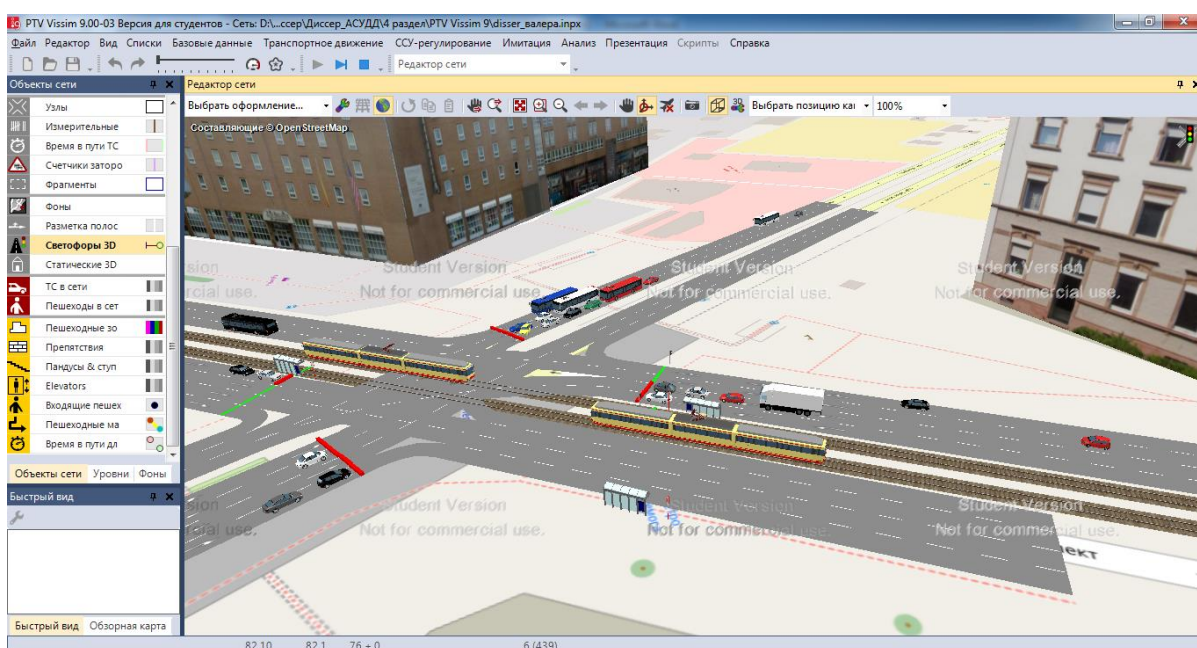
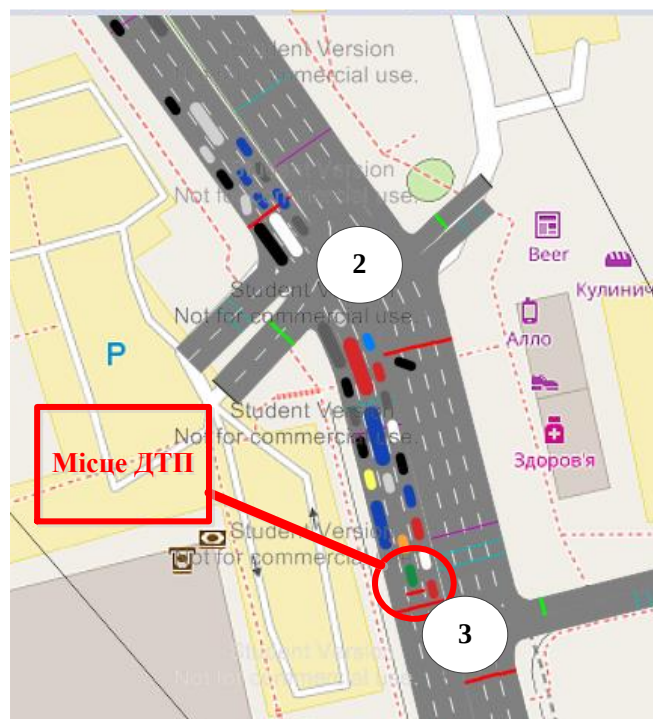


Рисунок 8.3 – Імітаційна модель частини ВДМ Шевченківського району м. Харків у тривимірному вигляді

У процесі моделювання руху ТЗ, що надходять на ділянку ВДМ зі світлофорним регулюванням, при відсутності перешкод руху, розподіляються по ділянці відповідно дозволеним напрямкам руху. В разі скоєння ДТП на одній з ділянок, рисунок 8.4,

спостерігається стрімке зростання щільності транспортних засобів, що призводить до заторової ситуації та зменшення пропускної здатності ділянки 2-3 ВДМ об'єкту дослідження.

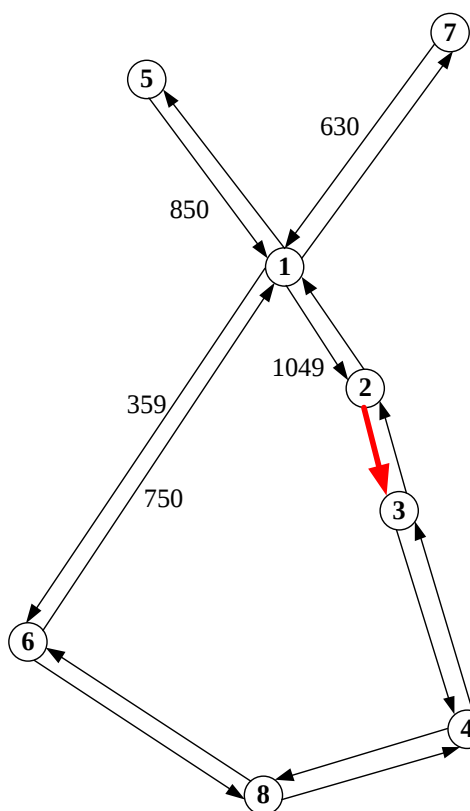


Умовні позначення:  – вузол мережі.

Рисунок 8.4 – Схема виникнення критичної ситуації на ВДМ

При імітаційному моделюванні для удосконалення організації ДР при даній критичній ситуації запропоновано обмежити доступ ТЗ з вузлів 5 та 7 у зону утворення затору на ділянці 2-3. Картограма інтенсивності ТП наведена на рис. 8.5.

Впровадження «обмеження доступу до ділянки магістралі» вимагає інформування водія про поточну схему ОДР – суттєві зміни у схемі ОДР, можливих маршрутах прямування. Зміну напрямків руху можливо реалізувати за допомогою керованих дорожніх знаків із зазначенням рекомендованих варіантів об'їзду та зміні циклу світлофорного регулювання.



Умовні позначення:  - вузол мережі; 2-3 – ділянка ВДМ з місцем виникнення ДТП; 850 – інтенсивність ТП, авт/год.

Рисунок 8.5 – Картограма інтенсивності ТП на об'єкті дослідження

В транспортному вузлі №1, рисунок 8.6, пропонуємо заборонити в'їзд на ділянку з незадовільним режимом руху та моделюємо перерозподіл інтенсивності руху на ділянках 1-6 та 1-2, що передують ділянці з обмеженим рухом. При цьому у транспортному вузлі №1 відбувається наступне: 1) з другого підходу забороняється проїзд транспортних засобів прямо в напрямку 4-го підходу та дозволяється рух тільки ліворуч і праворуч, що призводить до збільшення правоповоротного потоку до 1-го підходу, тобто $N_{2-1}^{нісля} = N_{2-1}^{до} + N_{2-4} = 170 + 553 = 723$ авт/год; 2) з підходу № 3 забороняється рух АТЗ ліворуч в напрямку 4-го підходу, що призводить до збільшення потоку транспортних засобів, які рухаються прямо до 1-го підходу, тобто $N_{3-1}^{нісля} = N_{3-1}^{до} + N_{3-4} = 189 + 346 = 535$ авт/год; 3) розподіл ТП з першого підходу залишиться без змін, бо при даній інтенсивності ТП в напрямку 4 значного впливу на критичну ситуацію не буде.

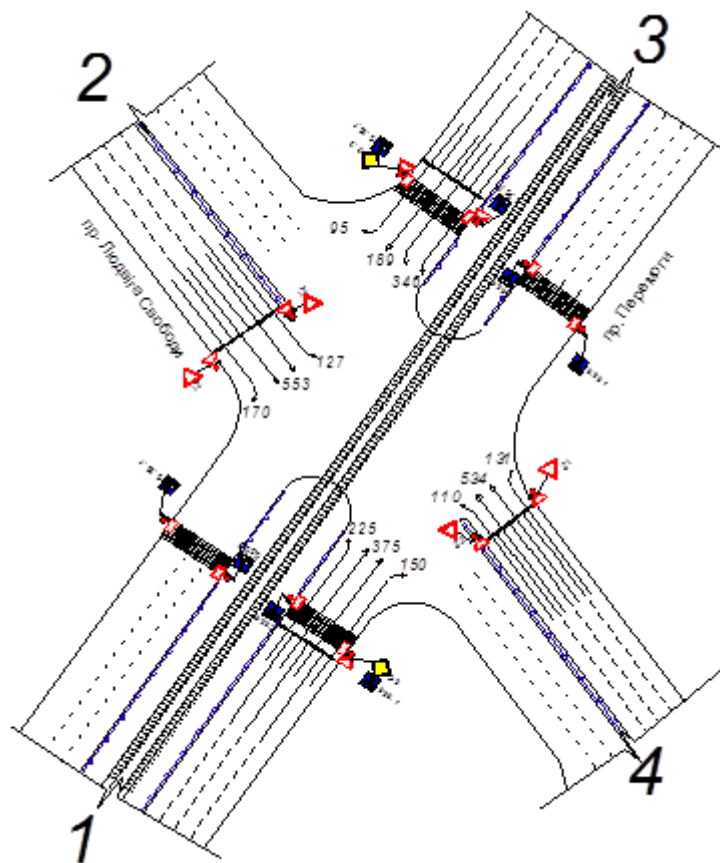
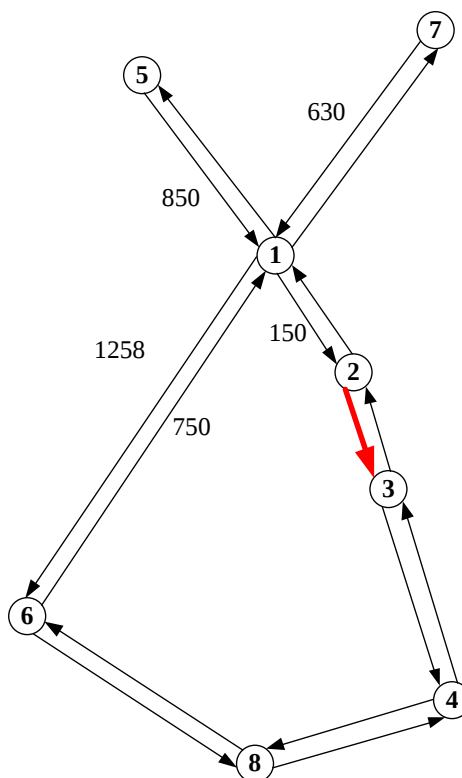


Рисунок 8.6 – Існуючий розподіл ТП в транспортному вузлі №1

Перерозподіл інтенсивності руху ТП на ділянках ВДМ об'єкту дослідження в ситуації скоєння ДТП на ділянці 2-3 після запропонованої дії представлений на рисунку 8.7, а результат зміни інтенсивності транспортних потоків за напрямками наведено у таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Зміна інтенсивності ТП на ВДМ об'єкту дослідження

	Ділянки ВДМ				
	1-2	1-6	5-1	7-1	6-1
Інтенсивність до запропонованих заходів, авт/год	1049	359	850	630	750
Інтенсивність після запропонованих заходів, авт/год	150	1258	850	630	750



Умовні позначення:  - вузол мережі; 2-3 – ділянка ВДМ з місцем виникнення ДТП; 850 – інтенсивність ТП, авт/год.

Рисунок 8.7 – Картограма перерозподілу інтенсивності ТП по ділянках ВДМ об'єкту дослідження

Ефективність обраного варіанту управляючої дії може бути оцінено за різними критеріями. Результатом роботи імітаційної моделі є визначення показників ефективності ДР до та після застосування «обмеження доступу до ділянки магістралі» в частині ВДМ Шевченківського району м. Харків. Порівняльний аналіз критеріїв ефективності ДР, що були отримані до та після впровадження заходів наведено у табл. 8.3.

Для перевірки коректності вибору заходу ОДР на ефективність ДР у критичній ситуації «виникнення ДТП» на ділянці магістралі ВДМ Шевченківського району м. Харків проведено імітаційне моделювання розподілу ТП з використанням програмного забезпечення PTV VISSIM. Результати моделювання підтверджують ефективність обрання в якості керуючого впливу в КС «виникнення ДТП» –

обмеження доступу до ділянки магістралі, оскільки відбувається зменшення затримок ТЗ на 3487 с та часу простою ТЗ на 2662 с.

Таблиця 8.3 – Результат застосування запропонованих заходів

	Часові затримки ТЗ, с	Час простою, с	Емісія СО, г	Емісія NO _x , г	Емісія летючих органічних сполук, г	Витрати палива, л
до застосування запропонованих заходів (за годину)	9867	6988	11569	2251	2681	626,52
після застосування запропонованих заходів (за годину)	6380	4326	11856	2318	2758	635,82

9 МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ БЕЗПЕРЕРВНОГО, БЕЗПЕЧНОГО ТА ЗРУЧНОГО РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ АВТОМОБІЛЬНИМИ ДОРОГАМИ

Оцінка забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами загального користування України має ґрунтуватися на загальних закономірностях розвитку суспільства та економіки країни, з урахуванням фінансової та податкової політики держави, специфіки дорожнього господарства, швидкості, щільності та інтенсивності дорожнього руху – головних складових продуктивності дороги, вартості та термінів будівництва і витрат на утримання та ремонту автомобільних доріг, попиту на рух автомобільними дорогами, інших соціально-економічних показників, у тому числі – матеріальних збитків від дорожньо-транспортних пригод (ДТП), а також тяжкості їх наслідків.

Розроблені методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами встановлюють пріоритетність планування і виконання дорожніх робіт, спрямованих на забезпечення транспортної доступності різних територій України, а також підвищення безпеки та поліпшення зручності дорожнього руху шляхом позачергового, першочергового й чергового удосконалення дорожніх умов на тих ділянках мережі доріг, що не відповідають вимогам з боку транспортних потоків, а також надавати подальшого розвитку мережі автомобільних доріг через удосконалення їхнього транспортно-експлуатаційного стану для задоволення попиту користувачів на рух ними [86].

Умови безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами характеризуються інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, транспортних потоків, погодно-кліматичних умов і станом аварійності, а також наявним ресурсним забезпеченням їхнього функціонування із застосуванням суспільно-економічної оцінки роботи автомобільної дороги як підприємства у транспортній системі регіону .

Удосконалення умов руху відповідає меті функціонування мережі

автомобільних доріг – забезпечення рівномірної та безперервної наземної транспортної доступності різних місць України, а також переміщення людей та транспортування товарів з належною надійністю.

Покращення дорожніх умов на небезпечних ділянках автомобільних доріг (як першочергові заходи покращення дорожніх умов) призведе не тільки до зменшення жертв та кількості ДТП, але поліпшить умови зручності руху транспортних потоків, що є вигідним для економіки країни та її суспільства.

Ефективність має досягатися завдяки забезпеченню транспортної доступності, зменшенню рівня аварійності та, відповідно, втрат від ДТП (збереження життя та здоров'я людей, зменшення матеріальних збитків), а також підвищенню рівня зручності руху.

Визначення рівнів безпеки руху та зручності руху автомобільними дорогами зумовлене необхідністю:

- скорочення втрат та упущеної вигоди від високої аварійності та незадовільного транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг;
- збільшення валового внутрішнього продукту (ВВП) і національного доходу (НД) від розвитку мережі автомобільних доріг та зниження рівня аварійності;
- формування програми практичних дій органів управління безпекою руху на різних рівнях в умовах структурної перебудови й реформування економіки країни та підвищення ефективності системи управління дорожнім господарством;
- підвищення життєвого й культурного рівнів населення шляхом задоволення попиту на рух автомобільними дорогами, зниження вартості товарів і послуг, підвищення рухливості населення та вивільнення часу перебування у дорозі пасажирів, а також скорочення кількості ДТП і негативного впливу на навколишнє середовище за рахунок поліпшення дорожніх умов [87].

Забезпечення умов безперервності руху автомобільними дорогами загального користування має бути позачерговим завданням щодо досягнення ефективності функціонування транспортної системи регіону.

Умови безперервного руху транспортних потоків автомобільними дорогами

забезпечуються майже завжди за виключенням декількох випадків.

Випадок перший. Транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги задовольняє вимогам руху транспортних потоків. Але через якісь причини рух транспортних засобів відсутній, тобто, N – об'єм руху (інтенсивність руху) транспортного потоку дорівнює нулю $N = 0$. За цієї умови й швидкості руху, природно, немає $V = 0$, а, отже, продуктивність дороги дорівнює нулю, тобто $\Pi = 0$.

Випадок другий. Автомобільна дорога зруйнована повністю або зруйновані її споруди. Таким чином транспортно-експлуатаційний стан дороги є незадовільним, вона не може функціонувати, тобто, забезпечувати рух транспортних засобів через виникнення надзвичайної ситуації. Знов таки $N = 0$, $V = 0$ та $\Pi = 0$.

Випадок третій. Транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги начебто задовольняє вимогам руху транспортних потоків. Але існуюча при цьому інтенсивність руху досягає максимальних значень, що призводить до повної зупинки усіх транспортних засобів. Отже, транспортно-експлуатаційний стан дороги стає незадовільним, вона не може ефективно функціонувати, тобто, забезпечувати рух транспортних засобів через виникнення заторової ситуацію. При цьому: $N = \max$, $V = 0$ та $\Pi = 0$ [88].

9.1 Показники аварійності, що необхідні для оцінки рівнів безпеки руху

Показники аварійності, що є необхідними для оцінки рівнів безпеки руху мають визначатися на підставі даних Державного комітету по статистиці України, Міністерства внутрішніх справ України, Міністерства охорони здоров'я України, Державної служби автомобільних доріг загального користування України.

До таких показників аналізу відносяться:

- загальна кількість ДТП, у т. ч., ДТП з постраждалими;
- загальна кількість загиблих;
- загальна кількість поранених;
- вік і стать водіїв – учасників ДТП;

- вік і стать постраждалих – учасників ДТП;
- загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів, у т. ч., за складом;
- загальна кількість зареєстрованого населення по областях, районах, тощо;
- довжина мережі автомобільних доріг загального користування, а також окремих автомобільних доріг та їх ділянок;
- макропоказники аналізу функціонування мережі автомобільних доріг для країни та її окремих регіонів.

Оцінка рівнів аварійності має виконуватися за підсумками останнього року (з урахуванням аварійності за три останні роки для місць і ділянок концентрації ДТП) для трьох рівнів аналізу:

- рівня країни (її регіонів – окремих областей), що відповідає рівню законодавчої та виконавчої влади країни, тобто вищому рівню державної та адміністративної діяльності;
- рівня відповідних міністерств та відомств, що відповідає рівню відомчого (галузевого) управління;
- рівня служб безпеки руху кожного власника автомобільної дороги – балансоутримувача.

Стан аварійності – це відносний показник, що характеризує кількість ДТП (чи кількість жертв від ДТП) за одиницю часу на одиницю виміру, або прогнозовану відносну їх кількість.

Показниками державної та адміністративної діяльності, що характеризують абсолютну аварійність (для країни та її областей окремо), є:

- загальна кількість ДТП, у т. ч. ДТП з постраждалими;
- загальна кількість загиблих;
- загальна кількість поранених;
- загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів, у т. ч., за складом;
- загальна кількість населення, зареєстрованого по областях, у тому числі, за статтю, віком, зайнятістю, тощо;
- вік і стать водіїв – учасників ДТП;
- вік і стать постраждалих – учасників ДТП.

Показниками державної та адміністративної діяльності, що характеризують відносну аварійність (для країни та її областей окремо), є:

- кількість ДТП, загиблих та поранених на 10 тис. транспортних одиниць;
- кількість ДТП, загиблих та поранених на 100 тис. жителів;
- кількість ДТП на 10 тис. кілометрів, тощо.

Показниками державної та адміністративної діяльності, що характеризують тяжкість наслідків (для країни та її областей окремо), є такі відносні показники:

- кількість загиблих на 100 ДТП;
- кількість поранених на 100 ДТП;
- кількість загиблих на 100 постраждалих;
- кількість загиблих на 10 тис. автомобілів;
- кількість постраждалих в ДТП на 10 тис. населення, тощо.

Показниками рівня відомчого (галузевого) управління, що характеризують абсолютну аварійність (для Державної служби автомобільних доріг – ДТП та їх характеристики, що скоєні на автомобільних дорогах, у т. ч., по областях), є:

- загальна кількість ДТП, у т. ч. ДТП з постраждалими;
- загальна кількість загиблих;
- загальна кількість поранених;
- загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів, у т. ч., за складом;
- загальна кількість населення, зареєстрованого по областях, у тому

числі, застаттю, віком, зайнятістю, тощо;

- вік і стать водіїв – учасників ДТП;
- вік і стать постраждалих – учасників ДТП.

Показниками рівня відомчого (галузевого) управління, що характеризують відносну аварійність (для Державної служби автомобільних доріг – ДТП та їх характеристики, що скоєні на автомобільних дорогах, у т. ч., по областях), є:

- кількість ДТП, загиблих та поранених на 10 тис. транспортних одиниць;
- кількість ДТП, загиблих та поранених на 100 тис. жителів;
- кількість ДТП на 10 тис. кілометрів, тощо;

Показниками рівня відомчого (галузевого) управління, що характеризують

тяжкість наслідків (для Державної служби автомобільних доріг – ДТП та їх характеристики, що скоєні на автомобільних дорогах загального користування, у т. ч., по областях), є такі відносні показники:

- кількість загиблих на 100 ДТП;
- кількість поранених на 100 ДТП;
- кількість загиблих на 100 постраждалих;
- кількість загиблих на 10 тис. автомобілів, зареєстрованих в області;
- кількість постраждалих в ДТП на 10 тис. населення, тощо.

Показниками рівня служб безпеки руху Державної служби автомобільних доріг України, що характеризують абсолютну аварійність по областях і по окремих автомобільних дорогах загального користування, є:

- загальна кількість загиблих;
- загальна кількість поранених;
- загальна кількість та за складом зареєстрованих в області автомобілів;
- загальна кількість населення, зареєстрованого по областях, у тому числі, за статтю, віком, зайнятістю, тощо;
- вік і стать водіїв – учасників ДТП;
- вік і стать постраждалих – учасників ДТП.

Для визначення статистичних залежностей рівнів аварійності на автомобільних дорогах загального користування зроблений аналіз такого критерію як коефіцієнт пригод [89].

Аналогічно отримані рівні аварійності в залежності від інтенсивності руху для різної кількості ДТП (відповідно до базової залежності), де граничними рівнями є значення коефіцієнту пригод K_{np} :

$K_{np} = 1,45 \div 1,70$ – мало небезпечні ділянки концентрації ДТП;

$K_{np} = 1,71 \div 1,96$ – небезпечні ділянки концентрації ДТП;

$K_{np} = 1,97$ і більше – дуже небезпечні ділянки концентрації ДТП.

9.2 Метод оцінки рівнів безпеки руху з урахуванням можливого ресурсного забезпечення

Оцінка рівнів безпеки руху – це порівняння фактичного рівня безпеки руху, що характеризується інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, транспортних потоків, погодно-кліматичних умов і станом аварійності, а також ресурсним забезпеченням виконання заходів з їхнім деяким заздалегідь визначеним значенням.

Рівні безпеки руху мають визначатися окремо для:

- кожної дороги (враховуючи, що вона проходить через декілька областей);
- ділянок автомобільних доріг (у кожній області);
- доріг, що обслуговуються кожною дорожньою організацією (власником доріг), яка є балансоутримувачем автомобільних доріг загального користування та уповноважена в установленому порядку здійснювати оперативне управління та повне господарське відання ними у межах, визначених законодавством про територіальний устрій чи іншими нормативними актами;
- ділянок (місць) концентрації ДТП – для усіх перерахованих підпунктів.

Покращення дорожніх умов як на найбільш небезпечних ділянках, так і на автомобільних дорогах взагалі, призводить не тільки до зменшення кількості ДТП та їх наслідків, але й підвищує рівень зручності руху транспортних потоків, що є вигідним для економіки країни та суспільства загалом.

Для визначення ділянок (місць) концентрації ДТП за даними лінійного (топографічного) аналізу ДТП, у тому числі тих, що суміщаються з дорогами та вулицями населених пунктів має застосовуватися стандарт Укравтодору СОУ 45.2 - 00018112-007:2008 «Порядок визначення ділянок і місць концентрації дорожньо-транспортних пригод на дорогах загального користування».

Відповідно до СОУ 45.2-00018112-007:2008 слід визначити:

- кількість ДТП на ділянці (місці) концентрації ДТП;
- середньорічну добову інтенсивність руху за останній рік періоду спостереження за розподілом ДТП на ділянці дороги, авт/добу;

- довжину ділянки (місця) концентрації ДТП;
- довжину ділянки, км (не враховується для ділянок довжиною менш ніж 1 км).

Ділянки та місця концентрації ДТП оцінюються та ранжируються за ступенем небезпеки дорожніх умов для руху транспортного потоку відповідно до значень коефіцієнта пригод K_{np} як малонебезпечні, небезпечні та дуже небезпечні в залежності від значення K_{np} .

Кількість місць та ділянок концентрації визначається відносно до довжини доріг, що обслуговується кожним дорожнім підприємством [90].

Ще однією з найважливіших властивостей показника «пропускна здатність автомобільної дороги» є його просторово-часова ймовірнісна характеристика, що доведено у роботі к. т. н. Красильнікової О. В.

Потреба у новій якості застосування поняття «рівні зручності руху автомобільними дорогами» виникає через можливість системного підходу до розгляду роботи дороги щодо забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху із визначенням потреби у необхідному ресурсному забезпеченні.

Для отримання рівнів зручності, що відповідають різному ресурсному забезпеченню, використовується Методологія визначення транспортної цінності забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху як критерію ефективності роботи автомобільної дороги.

Окремими кроками визначення рівнів зручності руху є отримання наступних залежностей:

- швидкість руху – інтенсивність руху для різного (за ознакою частки легкового руху) складу транспортного потоку;
- продуктивність автомобільної дороги – інтенсивність руху для різного (за ознакою частки легкового руху) складу транспортного потоку;
- транспортна цінність руху (попит з боку національних та міжнародних транспортних потоків) – продуктивність автомобільної дороги для різного (за ознакою частки легкового руху) складу транспортного потоку (пропозиція відповідної кості дорожніх умов з боку автомобільних доріг державного та місцевого значення);

- постійні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- змінні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- загальні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- середні постійні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- середні змінні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- середні загальні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- граничні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- сукупна суспільна вигода від роботи автомобільної дороги державного або місцевого значення для різного (за ознакою частки легкового руху) складу транспортного потоку – продуктивність автомобільної дороги.

Оцінка рівня зручності руху – це порівняння фактичного рівня зручності руху, що характеризується інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, попиту користувачів на рух дорогою, умов формування транспортних потоків, погодно-кліматичних умов, а також ресурсним забезпеченням виконання заходів щодо удосконалення умов руху з їхнім деяким заздалегідь визначеним значенням [91, 92].

Рівні зручності руху мають визначатися окремо для:

- кожної автомобільної дороги державного значення у регіоні (враховуючи те, що в першочергово слід розглядати роботу автомобільних міжнародних транспортних коридорів, потім за рангом: міжнародні, національні та регіональні);
- ділянок автомобільних доріг місцевого значення у регіоні (за рангом: територіальні, обласні та районні);
- автомобільних доріг за титулом, що обслуговуються різними дорожніми організаціями (власниками ділянок доріг), які є балансоутримувачами доріг загального користування та уповноважені в установленому порядку здійснювати оперативне управління та повне господарське відання ними у межах, визначених законодавством про територіальний устрій чи іншими нормативними актами.

10 РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Штучний інтелект (ШІ) стає все більш важливим інструментом у вдосконаленні безпеки дорожнього руху. Впровадження технологій ШІ у сферу транспорту дозволяє створювати ефективніші та безпечніші умови на дорогах, зменшуючи кількість дорожньо-транспортних пригод та ризиків для учасників руху. Розглянемо ключові аспекти використання ШІ для поліпшення безпеки дорожнього руху.

Штучний інтелект може аналізувати великі обсяги даних, включаючи інформацію з дорожніх камер, сенсорів, GPS та інших джерел. Аналізуючи ці дані, системи ШІ можуть передбачати можливі дорожні ситуації, такі як аварії, затори або порушення правил дорожнього руху.

Інтелектуальні системи на основі ШІ можуть надавати водіям поради та попередження щодо небезпечних умов на дорозі. Наприклад, системи моніторингу можуть сповіщати про небезпечні об'єкти на дорозі, а системи автоматичного гальмування можуть автоматично зупинити транспортний засіб у випадках надзвичайних ситуацій.

Штучний інтелект відіграє ключову роль у розвитку та удосконаленні технологій автономного водіння. Системи автопілоту, які засновані на ШІ, можуть керувати автомобілем з максимальною безпекою та ефективністю. Крім того, ШІ використовується для розробки продуктивних систем безпеки пасажирів.

Штучний інтелект може аналізувати стиль водіння та поведінку кожного водія. Це дає можливість виявити ризиковані звички та небезпечні маневри. Інформація про такі аспекти дозволяє вживати заходів щодо покращення безпеки дорожнього руху.

Системи ШІ можуть оптимізувати розподіл транспортних потоків та керування світлофорами. Це сприяє зменшенню заторів та покращує загальну безпеку на дорозі.

Використання Штучного Інтелекту в автомобільній промисловості має великий потенціал для покращення безпеки дорожнього руху. Від аналізу та передбачення

ситуацій до підтримки водіїв та управління транспортними потоками, ШІ сприяє створенню безпечніших та більш продуктивних доріг.

Дослідження в галузі аналізу транспортних конфліктів між автотранспортними засобами було почато в Detroit General Motors laboratory в кінці (1960) у зв'язку з виявленням проблем експлуатаційної безпеки, Perkins і Harris (1968) розробили першу концепцію аналізу транспортних конфліктів. Удосконалення методів їх оцінки пізніше продовжили Campbell, R.E та King L.E (1970), розглянувши конфліктні ситуації на Y-перехрестях сільських доріг, Baker, W.T. (1972) та Paddock, R.D. (1974) вдалося визначити статистичний зв'язок між транспортними подіями та транспортними конфліктами.

Представники Європейської наукової транспортної школи підійшли до досліджень у галузі аналізу транспортних конфліктів трохи пізніше, Spicer, B. (1971) та Older & Spicer (1976) у Великій Британії, Швеції, Норвегії та Данії Amundsen & Hydén (1975) та Hydén (1975) , у Нідерландах Oppe & Kraay (1975) та Guttinger & Kraay, (1976), у Франції Malaterre & Mühlrad (1977) та в Німеччині Zimolong, Schwerdtfeger & Erke (1977).

Поряд із зарубіжними дослідниками представники вітчизняної транспортної науки роблять істотний внесок у розвиток методів аналізу транспортних конфліктів, В.Ф.Бабков розробляє метод лінійних графіків, що використовується для прогнозування аварійності на замських дорогах, Ю.А.Врубелем запропоновано метод уповільнень, що дозволяє здійснювати прогнозування зіткнень на перехрестях. В. Н. Ситником запропоновано класифікацію конфліктних ситуацій на перехресті.

Точкою наукової консолідації сфери аналізу транспортних конфліктів стало проведення першої міжнародної конференції в Осло Amundsen & Hyden (1977) [94], під час якої було обґрунтовано перелік типових конфліктних ситуацій, прийнято термінологічну базу та встановлено поняття транспортного конфлікту Cooper (1977) [95].

Наступні конференції з аналізу транспортних конфліктів за участю Європейських, Американських та Українських фахівців у Руані (1979), Гесталтері (1979), Мальме (1983), Траутенфельсі (1988) дозволили зробити деякі узагальнюючі

висновки та виділити основні ознаки конфліктної ситуації, продемонструвати та порівняти дослідження транспортних конфліктів, серед яких стали розрізняти статистичний метод, метод конфліктних ситуацій, метод потенційної небезпеки (метод лінійних графіків, метод конфліктних точок та метод уповільнень) та експертний метод [96].

Розвиток інформаційних та комп'ютерних технологій, безперервних систем спостереження та фіксування транспортних конфліктів [97], наближення засобів обробки інформації до місця її виникнення, визначили тренд інтелектуальних технологій прогнозування та моделювання аналізу транспортних конфліктів. Серед недавніх робіт, виконаних дослідниками, слід зазначити такі: Д.В.Капський (2006) [98] пропонує підхід до розвитку методу потенційної небезпеки, реалізує створення придатної для практичного застосування методики прогнозування аварійності на конфліктних об'єктах, яка дозволяла б оцінити аварійність ще на стадії проектування, Nicolas Saunier & Tarek Sayed (2007) [96] розробляють метод автоматизованого аналізу безпеки дорожнього руху з використанням відео датчиків, пізніше Reik Donner (2009) [99] вже реалізує модель самоорганізаційної оптимізації сигнальних систем регулювання транспортного руху, що дозволяє здійснювати дослідження на перехресті за умови регулярної топології мережі. Xiru Tang & Yanyan Chen (2013) [1], за допомогою моделювання методом клітинних автоматів встановлюють зв'язок між частотою транспортних конфліктів, внутрішніми властивостями транспортних потоків та зміною швидкісних характеристик рухомих транспортних об'єктів, а David Eichler, Hillel Bar-Gera, Meir Blachman (2013) [97] незалежно пропонують новий підхід скорочення транспортних конфліктів з урахуванням тривимірного агентного моделювання.

Структура транспортних конфліктів постійно еволюціонує, а стрімкий розвиток обчислювальних систем, і методів моделювання здатні передбачити лише його існування та характеризувати ступінь впливу та способи його вирішення криються в фундаментальній науковій галузі, що зачіпає природу зародження та розвитку такого стану як транспортний конфлікт.

Однак, незважаючи на Cooper (1977), Клінковштейн Г. І., Ситник Ст. Н., Смирнов С. І. (1987) розвиток фундаментального теоретичного базису, що розкриває природу транспортних конфліктів з позиції структурно-функціональної взаємодії законів функціонування елементів ТЗ реалізовано не було, залишилися відкритими питання формального опису теоретичної галузі транспортних конфліктів та їх функціональна класифікація. Відсутність математизації понятійного апарату в рамках логіко-алгебраїчного опису не дозволила провести імплікативний зв'язок цільових станів рухомих транспортних об'єктів та іманентної структури транспортної комунікаційної системи (TCS), і, отже, формалізувати проблеми ліквідації транспортних конфліктів у рамках загальноприйнятого теоретичного та прикладного інструментарію та представлених підходів.

11 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА ТЯЖКІСТЬ НАСЛІДКІВ ДТП

11.1 Аналіз стану питання за темою дослідження

Негативні наслідки дорожньо-транспортних пригод (ДТП) є серйозним викликом у сфері дорожнього руху в усьому Світі. Як вказується у останньому звіті ВООЗ, зі зростанням числа автомобілів проблема травматизму людей на дорогах стала одним із основних ризиків для суспільства [99].

Численні дослідження проблеми дорожньо-транспортного травматизму свідчать про те, що швидкість руху транспортних засобів (ТЗ) є одним із найбільш значних факторів, що впливають на ймовірність та тяжкість наслідків ДТП [100-107]. Зокрема, дослідження Національного управління безпекою дорожнього руху США (NHTSA) показало, що ризик смертельного результату в ДТП збільшується в геометричній прогресії зі збільшенням швидкості ТЗ [101]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), перевищення швидкості є причиною приблизно третини всіх смертей у ДТП у всьому світі [99].

Відомими дослідженнями з проблеми впливу швидкості на аварійність є роботи с, в яких показано, що ймовірність потрапляння в ДТП для окремого автомобіля є зростаючою функцією швидкості. Також дослідження показують взаємозв'язок між швидкістю ТЗ та наслідками ДТП [107, 108].

В основі кореляції між швидкістю та тяжкістю наслідків ДТП полягають базові фізичні принципи: при збільшенні швидкості ТЗ збільшується та його кінетична енергія, що означає, що при контакті з іншим об'єктом автомобіль матиме більшу руйнівну силу. Більш висока швидкість також призводить до збільшення зупиночного шляху, скорочує можливість для водія зреагувати на небезпеку та уникнути ДТП.

Сучасні дослідження також вказують на те, що тяжкість травм, отриманих у ДТП, тісно пов'язана зі швидкістю автомобіля, та при більш високих швидкостях ймовірність отримання серйозних чи смертельних травм значно зростає [109-112].

Особливо це стосується вразливих категорій учасників руху, таких як пішоходи та велосипедисти.

Оцінки ступеня впливу швидкості на тяжкість наслідків ДТП відрізняються для різних видів подій [111]. Так, при більш високих швидкостях наїзди на пішоходів або бічні зіткнення призводять до більш серйозних травм, ніж лобові зіткнення і перекидання. В роботі [112] вказується, що при збільшенні оціночної швидкості на 1 км/год, шанси загибелі пішохода збільшуються в середньому на 11%. В дослідженні [113] зазначається, що при збільшенні швидкості руху транспортних засобів з 30 до 40 миль/год ризик загибелі пішоходів зростає щонайменше в 3,5 рази.

Таким чином, літературні джерела одноголосно підтверджують, що швидкість автомобіля є критичним фактором, що визначає тяжкість наслідків ДТП. Збільшення швидкості збільшує ризик смертельного результату та тяжких травм для певних типів ДТП.

11.2 Методи встановлення швидкості руху транспортного засобу при виникненні ДТП

Одним із складних питань, що постає при аналізі впливу швидкості на аварійність є саме встановлення швидкості ТЗ. В практиці відомо кілька методологічних напрямків в залежності від способу отримання статистичних даних про швидкості ТЗ та їх походження [114]. Використані різними дослідниками методи відрізняються за достовірністю, точністю та трудомісткістю отримання даних (рис. 11.1).

Детальний аналіз всіх обставин ДТП проводиться в рамках судової автотехнічної експертизи, де одним з питань дослідження є встановлення швидкості ТЗ в момент виникнення небезпечної дорожньої обстановки. Таким чином, дані експертиз ДТП можуть бути корисним джерелом інформації про фактичні швидкості ТЗ при їх потраплянні в ДТП [115].

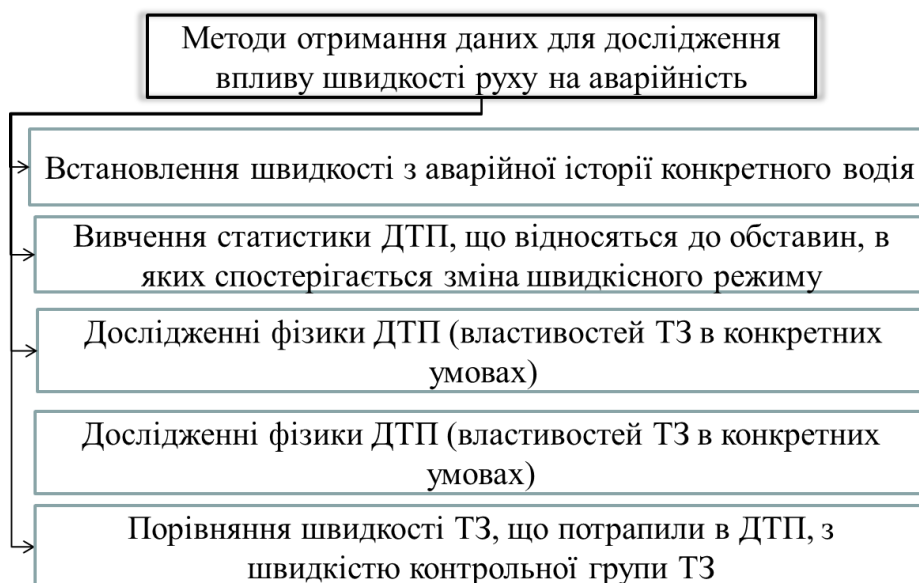


Рисунок 11.1 - Методи отримання даних для аналізу впливу швидкості ТЗ на аварійність на дорогах

Однак, не всі експертні методи розрахунку швидкості дають точні результати, тому експерти зазвичай вказують лише мінімальну межу швидкості. Крім того, експерти не завжди мають необхідні дані або технічні можливості для розрахунку швидкості. Нерідко швидкість визначається виходячи з показань водія, однак їх достовірність може бути сумнівною через неточність сприйняття та можливу упередженість водія.

Однак в цілому, при проведенні експертизи ДТП до точності визначення швидкості руху ТЗ пред'являються особливі вимоги, тому відносна точність використовуваних розрахункових методів також враховується експертом. Таким чином, дані про швидкість руху ТЗ при потраплянні ДТП, отримані за результати експертиз можна вважати достатньо достовірними для використання при аналізі впливу швидкості ТЗ на тяжкість наслідків ДТП.

Тяжкість наслідків ДТП є одним з критеріїв оцінювання загальної аварійної обстановки на досліджуваній ділянці автомобільної дороги або ВДМ району великому місті.

11.3 Дослідження швидкостей транспортних засобів, що потрапили в ДТП в м. Харкові

Як було зазначено вище, найбільш достовірними методами оцінки впливу швидкісного режиму на тяжкість наслідків ДТП є співставлення реальних наслідків подій з зафіксованими значеннями швидкостей окремих ТЗ, що стали учасниками ДТП. Але отримання таких даних є досить складним завданням через обмеженість джерел та через високу трудомісткість обробки перинних носіїв інформації. Оскільки більш менш достовірно швидкість ТЗ, що потрапив в ДТП, може бути встановлена під час розслідування даної події методами автомеханічної експертизи, практично єдиним джерелом вихідних даних можуть бути відповідні науково-дослідні та експертні установи.

Завдяки налагодженим контактам та плідній співпраці між кафедрою організації та безпеки дорожнього руху ХНАДУ та Харківським науково-дослідним експертно-криміналістичним центром МВС України, ми маємо змогу отримувати дані з результатів експертних досліджень ДТП, які проводилися експертами-автотехніками. З загального обсягу результатів експертиз обиралися випадки ДТП, для яких в результаті їх розслідування була встановлена швидкість руху одного з автомобілів, що став безпосереднім учасником події. Для кожного випадку ДТП, таким чином, отримувалися наступні вихідні дані (рис. 11.2):

1. Дата події;
2. Місце скоєння;
3. Вид ДТП;
4. Показник тяжкості наслідків;
5. Швидкість ТЗ;
6. Метод визначення швидкості.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Статистика ДТП Харківський НДЕКЦ						
2							
3	№	Дата події	Місце скоєння	Код виду ДТП	Частина ст. 286 ККУ	Швидкість руху ТЗ, км/год	Метод встановлення швидкості
86	83	10.02.2018	м.Харків, вул.Полтавський шлях	5	1	68	С
87	84	19.02.2018	м.Харків, вул. Харк.Дивізій	5	2	50	С
88	85	24.02.2018	Зміївський р-н, с.Таранівка	5	2	101	С
89	86	25.02.2018	м.Харків, пров. Банний	5	1	40	С
90	87	07.03.2018	м.Харків, вул.Механізаторська	1	1	20	С
91	88	17.03.2018	м. Харків, вул. Академіка Павлова	4	1	50	Е
92	89	24.03.2018	Старий Мерчик-Красний Кут	1	1	60	С
93	90	01.04.2018	м.Харків, вул.Тюрінських	5	1	30	С
94	91	02.04.2018	м.Харків, вул.Холодногірська	4	2	53	С
95	92	07.04.2018	м.Харків, вул.В.Стусі	4	1	57	С
96	93	09.04.2018	м. Харків, пр. Героїв Сталінграда	1	2	67	Е
97	94	14.04.2018	м.Харків, вул.Ак.Павл.-вул.Механізатор.	1	2	50	С
98	95	19.04.2018	м.Харків, пр.Академіка Павлова	4	2	5	С
99	96	20.04.2018	м. Харків, пр. Перемоги	4	1	45	Е
100	97	24.04.2018	м.Харків, вул.Москалівська	5	1	61	С
101	98	28.04.2018	м.Харків, пр. Гагаріна	4	1	50	С
102	99	02.05.2018	м. Харків, Мереф'янське шосе	1	2	47	С

Рисунок 11.2 – Вигляд таблиці вихідних даних

Слід зробити певне уточнення стосовно методики фіксування ступеня тяжкості наслідків ДТП. В переважній більшості випадків експертиза ДТП призначається в рамках кримінального провадження, що розпочинається по факту події згідно статті 286 Кримінального кодексу України «Порушення правил безпеки дорожнього руху або експлуатації транспорту особами, які керують транспортними засобами» у випадку, коли в результаті ДТП його учасники зазнали значних тілесних ушкоджень. В постанові про призначення експертизи мається посилання на частину статті 286, за якою порушена кримінальна справа, а саме:

- Частина 1 ст. 286: Порушення правил безпеки дорожнього руху або експлуатації транспорту особою, яка керує транспортним засобом, що спричинило потерпілому середньої тяжкості тілесне ушкодження;
- Частина 2 ст. 286: Ті самі діяння, якщо вони спричинили смерть потерпілого або заподіяли тяжке тілесне ушкодження;
- Частина 3 ст. 286: Діяння, передбачені частиною першою цієї статті, якщо вони спричинили загибель кількох осіб.

Таким чином, посилання на статтю кримінальної справи, за якою була призначена експертиза може виступати в якості показника тяжкості події. Оскільки

очевидно, що різниця у наслідках конкретного ДТП, передбачених частиною 2 та частиною 3 статті 286 ККУ, в великій мірі може бути обумовлено випадковими зовнішніми обставинами події, такими як кількість пасажирів в салоні ТЗ або кількості пішоходів, що опинилися в межах смуги руху ТЗ, генеральна сукупність даних групувалася по двох групах тяжкості наслідків ДТП:

1. ДТП, в результаті яких учасники отримали тілесні ушкодження середньої тяжкості (ч.1 ст. 286 ККУ);
2. ДТП, в результаті яких була констатована загибель хоча б однієї людини (ч. 2 та ч. 3 ст. 286 ККУ).

Стосовно методу визначення швидкості слід пояснити, що відповідна помітка в таблиці даних використовувалася для розрізнення випадків, коли швидкість руху ТЗ була встановлена експертними методами або приймалася зі слів водія. У ході розслідування ДТП водій зобов'язаний надати слідчому пояснення щодо обставин події. Проте, як правило, аналіз події на основі швидкості руху транспортного засобу за словами водія не рекомендується, оскільки це суперечить принципам судової експертизи. Тим не менш, у випадках, коли неможливо застосувати інші методи, показання водія широко використовуються. По можливості, свідчення водія перевіряються експертом на технічну обґрунтованість.

Деякі дослідники проводили аналіз надійності оцінок швидкості руху транспортних засобів водіями шляхом порівняння з іншими методами, такими як експертиза пошкоджень транспортних засобів, відеозапис події та реконструкція місця ДТП [116, 117]. Хоча результати досліджень показали, що оцінки швидкості руху транспортних засобів, зроблені водіями, не завжди є достовірними, стосовно використаних нами даних, порівняльний аналіз, наведений в роботі [115], показав відсутність суттєвих відмінностей для двох вибірок даних за критерієм методу встановлення швидкості ТЗ.

Використані для аналізу випадки ДТП були скоєні в переважній більшості в межах міста Харкова в період 2018 - 2020 років, загальній обсяг вибірки склав 372 події. Статистичні характеристики загальної вибірки наведені в табл. 11.1. На

рис. 11.3 представлені гістограма розподілу швидкостей руху ТЗ та інтегральний графік накопичених відсотків для загальної вибірки даних.

Таблиця 11.1 – Статистичні характеристики загальної вибірки даних швидкостей транспортних засобів, що потрапили в ДТП

Показники	Значення
Середньозважене	56,23
Медіана	50
Мода	50
Стандартне відхилення	23,44
Дисперсія вибірки	549,39
Мінімум	5
Максимум	150
Обсяг вибірки	372
Рівень надійності (95,0%)	2,39

Оскільки переважна більшість проаналізованих ДТП були скоєні в межах міста, середньозважене значення швидкостей руху ТЗ свідчить про перевищення встановленого Правилами обмеження швидкості для населених пунктів значною кількістю водіїв. Однак вплив цього фактору на ймовірність та тяжкість наслідків ДТП потребує окремого дослідження.

За зовнішнім виглядом гістограми рис. 11.3 можна зробити припущення про нормальний характер розподілу вибірки швидкостей.

Для перевірки припущення про вплив швидкості ТЗ при ДТП на тяжкість наслідків події потрібно згрупувати загальну вибірку даних по критерію тяжкості та провести аналіз кожної з двох груп даних. Результати розрахунку базових статистичних показників для двох отриманих вибірок наведені в табл. 11.2. Гістограми розподілу швидкостей руху ТЗ для згрупованих за критерієм тяжкості наслідків ДТП вибірок даних наведені на рис. 11.4 та 11.5.

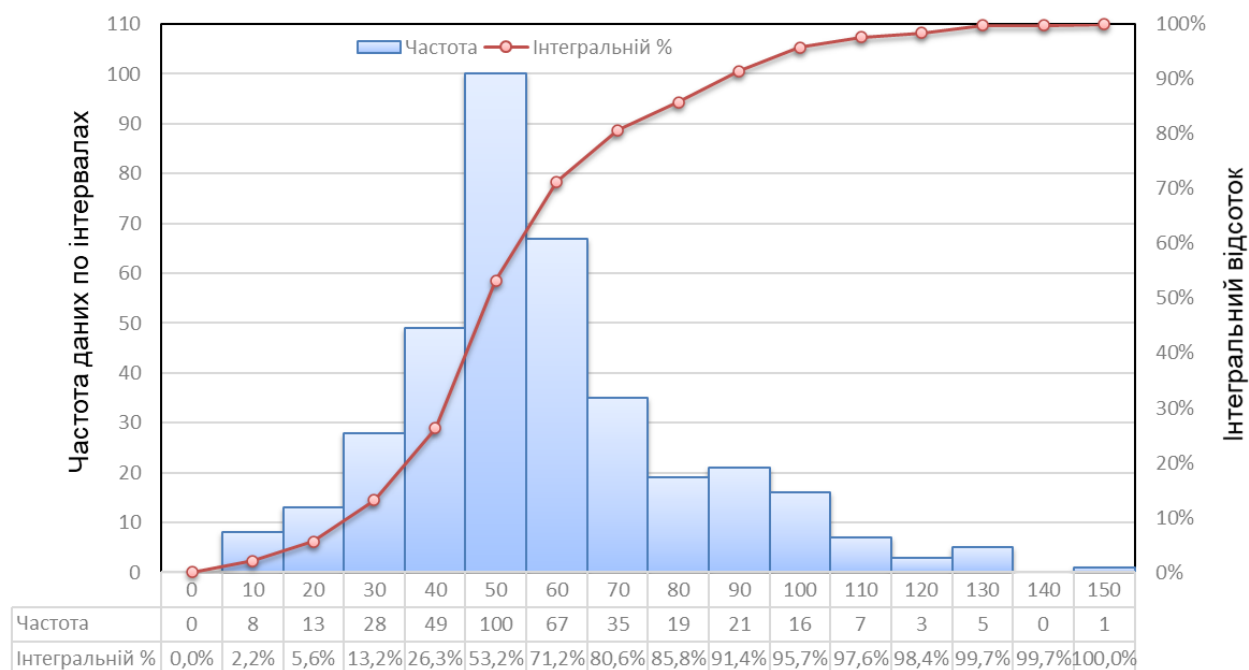


Рисунок 11.3 – Гістограма розподілу загальної вибірки даних швидкостей ТЗ, що потрапили в ДТП

Таблиця 11.2 – Статистичні характеристики вибірок даних швидкостей транспортних засобів, що потрапили в ДТП, які згруповані за показником тяжкості наслідків

Показники	Значення	
	ч.1 ст. 286 ККУ	ч. 2 та ч. 3 ст. 286 ККУ
Середньозважене	52,95	59,27
Медіана	50	53
Мода	50	50
Стандартне відхилення	21,85	24,49
Дисперсія вибірки	477,39	599,67
Мінімум	5	5
Максимум	123	150
Обсяг вибірки	179	193
Рівень надійності (95,0%)	3,22	3,48

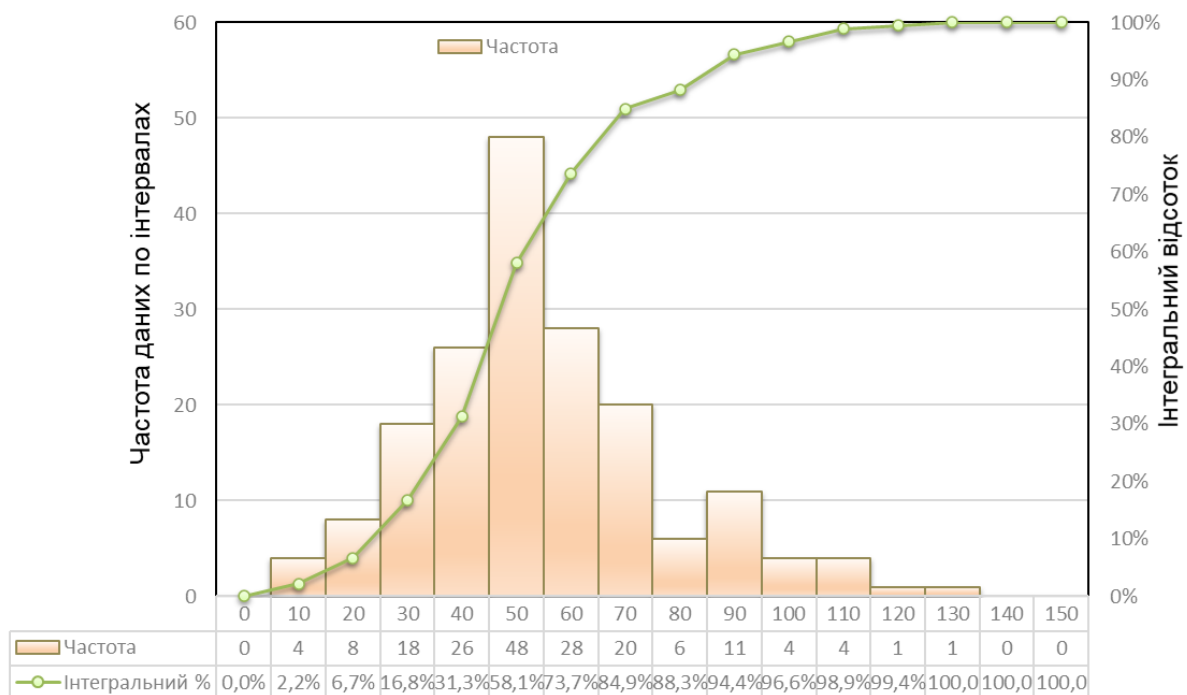


Рисунок 11.4 – Гістограма розподілу вибірки даних швидкостей ТЗ, що потрапили в ДТП з потерпілими середньої тяжкості

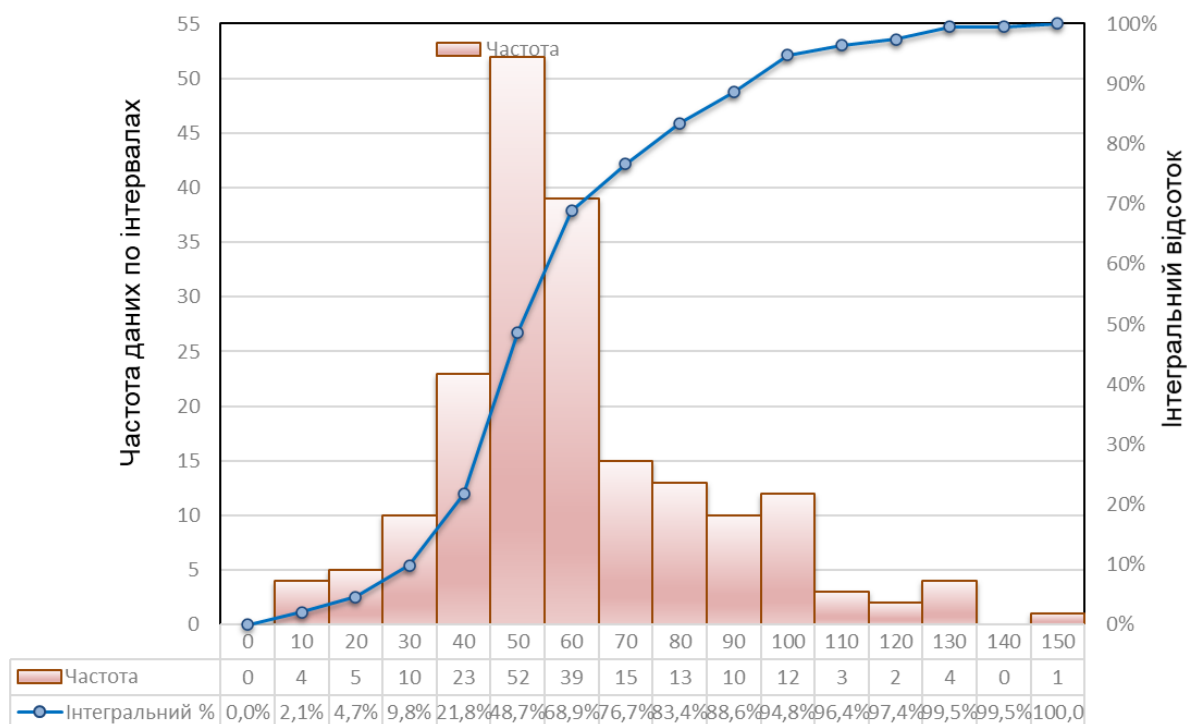


Рисунок 11.5 – Гістограма розподілу вибірки даних швидкостей ТЗ, що потрапили в ДТП з тяжкими потерпілими або загиблими

Перш ніж перейти до порівняння отриманих результатів, доцільно перевірити репрезентативність самих вибірок даних. Для цього можна перевірити достатність обсягу даних для забезпечення необхідної точності й надійності результатів. Необхідний обсяг вибірки можна оцінити за формулою

$$n_{\text{номр}} = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot \sigma^2}{\eta^2}, \quad (11.1)$$

де t_{α} – функція довірчої імовірності;

σ – середнє квадратичне відхилення значень, км/год.;

η – крайня дозвільна помилка, км/год.

$$\eta = \Delta \cdot \bar{V}_c, \quad (11.2)$$

де Δ – відносна потрібна точність обліку;

$\bar{V}_c$ – середньозважене значення вибірки, км/год.

Значення функції довірчої імовірності t_{α} обирають залежно від довірчої імовірності α за статистичними таблицями. Для загальноприйнятого в статистичних дослідженнях технічного напрямку значення $\alpha=0,95$ величина $t_{\alpha}=1,96$. Якщо прийняти потрібну точність в розмірі 10 %, то можна отримати значення потрібного обсягу вибірки для першої та другої групи відповідно:

$$n_{\text{номр1}} = \frac{1,96^2 \cdot 21,85^2}{(0,1 \cdot 52,95)^2} = 65;$$

$$n_{\text{номр2}} = \frac{1,96^2 \cdot 24,49^2}{(0,1 \cdot 59,27)^2} = 66.$$

Оскільки обсяг вибірки $n > n_{\text{номр}}$ для обох груп даних, можна зробити висновок, що обсяг вибірок є достатнім для забезпечення заданої надійності результатів.

Тепер можна порівняти статистичні характеристики розподілу швидкостей ТЗ першої групи, тобто для ДТП з менш тяжкими наслідками (середньої тяжкості тілесні ушкодження), з аналогічними характеристиками другої групи, тобто для ДТП з більш тяжкими наслідками (тяжкі тілесні ушкодження або загибель людини). Можна побачити, що середньозважене значення швидкостей ТЗ першої вибірки виявилися нижчим за другу на майже на 7 км/год. Для другої вибірки на 3 км/год виявилось більшим медіанне значення швидкості.

Для перевірки ступеня значущості отриманої різниці для двох вибірок даних можна провести їх перевірку. Для даних, розподілених за нормальним законом, найбільш підходящим методом порівняння ступеня відмінностей між двома вибірками є t -тест, який передбачає, що дані відповідають нормальному розподілу, і використовується для перевірки гіпотези про те, що середні дві вибірки рівні. Цей тест можна використовувати як незалежних, так пов'язаних вибірок. Оскільки досліджувані вибірки є пов'язаними, доцільно використовувати парний t -тест, який порівнює середні двох вибірок, отриманих від тих самих суб'єктів чи одиниць виміру. t -тест надає статистику t , яка є відношенням різниці середніх до стандартної помилки різниці. Статистика t далі порівнюється з критичним значенням t при вибраному рівні значущості визначення статистичної значущості відмінностей між двома вибірками.

Якщо значення p , пов'язане зі статистикою t , менше обраного рівня значущості, ми відкидаємо нульову гіпотезу у тому, що середні двох вибірок рівні, і робимо висновок у тому, що є статистично значима різниця з-поміж ними.

Для перевірки розподілів двох вибірок швидкостей ТЗ, що потрапили в ДТП, використаємо функцію «Двовибірковий t -тест з різними дисперсіями» вбудованого в середовище Excel пакету «Аналіз даних» (рис. 11.6).

Двовибірковий t-тест з різними дисперсіями		
	<i>Вибірка1</i>	<i>Вибірка2</i>
Середнє	52,94692737	59,26943005
Дисперсія	477,3918304	599,6666127
Спостереження	179	193
Гіпотетична різниця середніх	0	
df	369	
t-статистика	-2,631163498	
P(T<=t) одностороннє	0,004433042	
t критичне одностороннє	1,648993533	
P(T<=t) двостороннє	0,008866083	
t критичне двостороннє	1,966413684	

Рисунок 11.6 – Результати аналізу ступеня значущості отриманої різниці для двох вибірок

Оскільки при порівнянні двох масивів даних зі ступенями свободи 369, оскільки отримане t-статистичне значення дорівнює 1,649 (односторонній тест) та 1,966 (двосторонній тест), то можна відхилити нульову гіпотезу про статистично значущу різницю між масивами даних. Іншими словами, отримане значення t-критичного знаходиться в межах, в яких можна зробити висновок, що відмінності між масивами даних, з великою ймовірністю, можуть бути випадковими і не відображають істинної різниці між ними.

Таким чином, спираючись на проведений аналіз, ми не можемо встановити достовірно вплив швидкості руху ТЗ при потраплянні в ДТП на тяжкість наслідків події для загальної вибірки ДТП.

Але, спираючись на великий обсяг даних можна спробувати проаналізувати зв'язок швидкості ТЗ з параметром тяжкості наслідків ДТП для окремих видів подій. В табл. 11.3 наведено розподіл загальної вибірки даних за видами ДТП. Як можна бачити, найбільша кількість випадків становлять зіткнення та наїзд на пішохода, тому доцільно провести аналіз для даних видів ДТП.

Результати розрахунку основних статистичних показників для вибірок даних по зіткненням ТЗ наведені в табл. 11.4. Гістограми розподілу швидкостей руху ТЗ для згрупованих за критерієм тяжкості наслідків ДТП вибірок даних наведені на рис. 11.7 та 11.8.

Таблиця 11.3 – Розподіл загальної вибірки за видами ДТП

Код	Найменування	Кількість випадків
01	Зіткнення	154
02	Перекидання	5
03	Наїзд на транспортний засіб, що стоїть	1
04	Наїзд на перешкоду	51
05	Наїзд на пішохода	150
06	Наїзд на велосипедиста	6
07	Наїзд на гужовий транспорт	0
08	Наїзд на тварин	1
09	Падіння пасажирів	1
10	Падіння вантажів	3

Таблиця 11.4 – Статистичні характеристики згрупованих за показником тяжкості наслідків ДТП вибірок даних швидкостей транспортних засобів при зіткненні ТЗ

Показники	Значення	
	ч.1 ст. 286 ККУ	ч. 2 та ч. 3 ст. 286 ККУ
Середнєзважене	56,47	60,56
Медіана	50	59
Мода	50	60
Стандартне відхилення	24,00	25,58
Дисперсія вибірки	575,89	654,17
Мінімум	5	5
Максимум	120	130
Обсяг вибірки	77	77
Рівень надійності (95,0%)	5,45	5,81

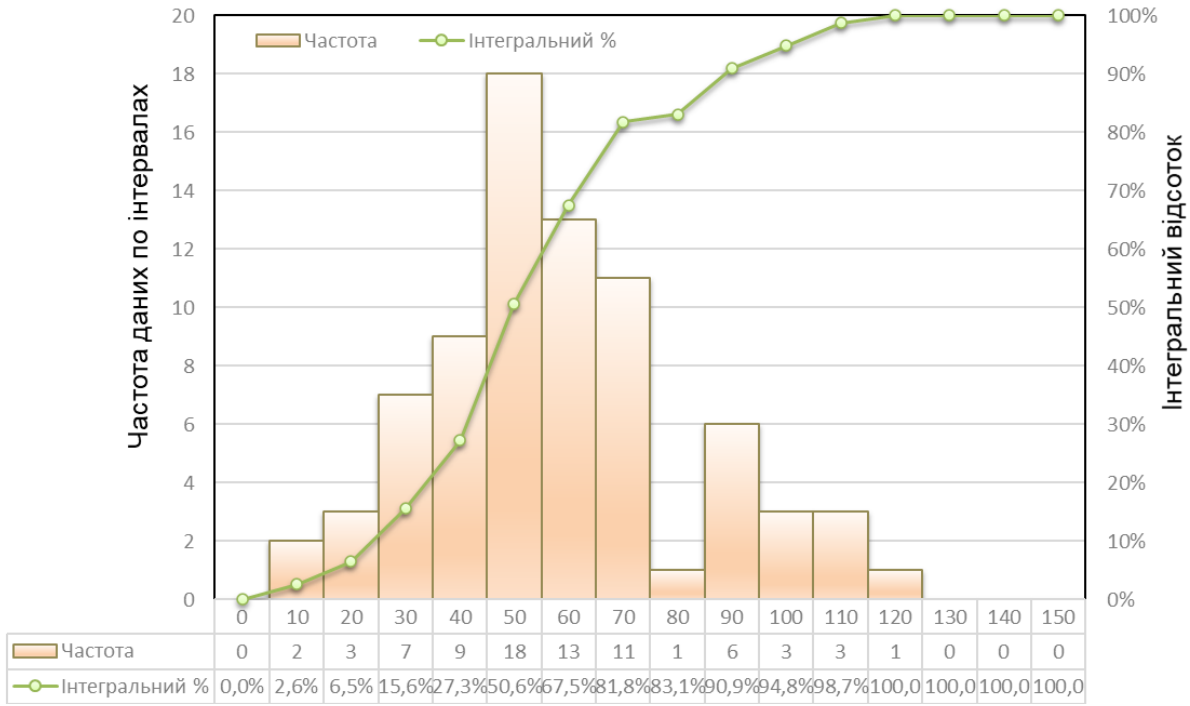


Рисунок 11.7 – Гістограма розподілу вибірки даних швидкостей ТЗ при зіткненні з потерпілими середньої тяжкості

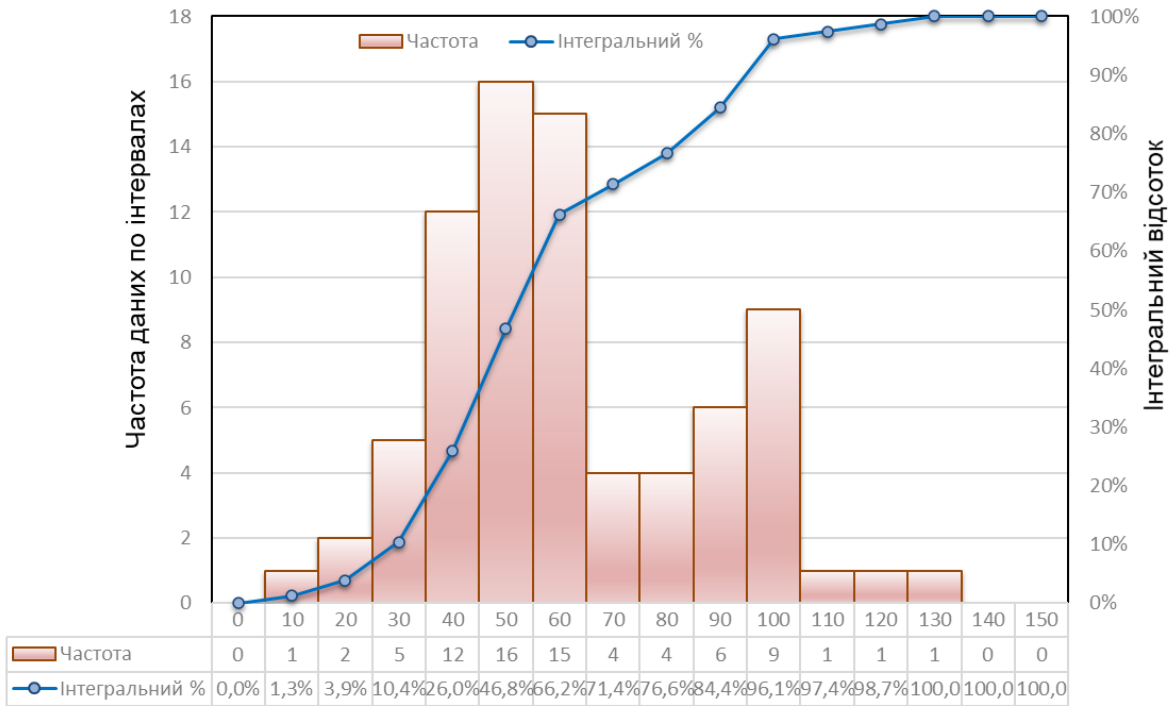


Рисунок 11.8 – Гістограма розподілу вибірки даних швидкостей ТЗ при зіткненні з тяжкими потерпілими або загиблими

Для перевірки ступеня значущості різниці розподілів вибірок швидкостей ТЗ при зіткненні, проводимо аналогічні розрахунки в середовищі Excel (рис. 11.9).

Двовибірковий t-тест з різними дисперсіями		
	Вибірка1	Вибірка2
Середнє	56,47402597	60,55844156
Дисперсія	575,8940533	654,1708817
Спостереження	77	77
Гіпотетична різниця середніх	0	
df	151	
t-статистика	-1,02190675	
P(T<=t) одностороннє	0,154229725	
t критичне одностороннє	1,655007387	
P(T<=t) двостороннє	0,30845945	
t критичне двостороннє	1,975798924	

Рисунок 11.9 – Результати аналізу ступеня значущості отриманої різниці для вибірок швидкостей ТЗ при зіткненні

Оскільки розрахована t-статистика менше t-критичного одностороннього і t-критичного двостороннього, ми не можемо відкинути нульову гіпотезу про рівність масивів з рівнем значимості 0,05 як з використанням одностороннього, так і з використанням двостороннього тесту. Тоді, наявні дані не надають достатніх доказів для висновку про те, що існує статистично значуща різниця між двома масивами.

Таким чином, так само, як і для загальної вибірки, ми не можемо встановити достовірно вплив швидкості руху ТЗ при зіткненні на тяжкість наслідків події ДТП.

Проведемо аналогічні розрахунки для вибірок швидкостей ТЗ, що здійснили наїзд на пішохода. Статистичних показників для цих вибірок наведені в табл. 11.5, а відповідні гістограми - на рис. 11.10 та 11.11.

Відомо, що швидкість руху автомобіля перед зіткненням або перед іншим видом ДТП сильно впливає на тяжкість наслідків ДТП. Далі досліджуємо залежність тяжкості наслідків від швидкості автомобіля в момент ДТП.

Таблиця 11.5 – Статистичні характеристики згрупованих за показником тяжкості наслідків ДТП вибірок даних швидкостей транспортних засобів при наїзді на пішохода

Показники	Значення	
	ч.1 ст. 286 ККУ	ч. 2 та ч. 3 ст. 286 ККУ
Середнєзважене	49,24	57,15
Медіана	50	50
Мода	50	50
Стандартне відхилення	20,72	24,37
Дисперсія вибірки	429,14	593,93
Мінімум	5	10
Максимум	123	150
Обсяг вибірки	70	80
Рівень надійності (95,0%)	4,94	5,42

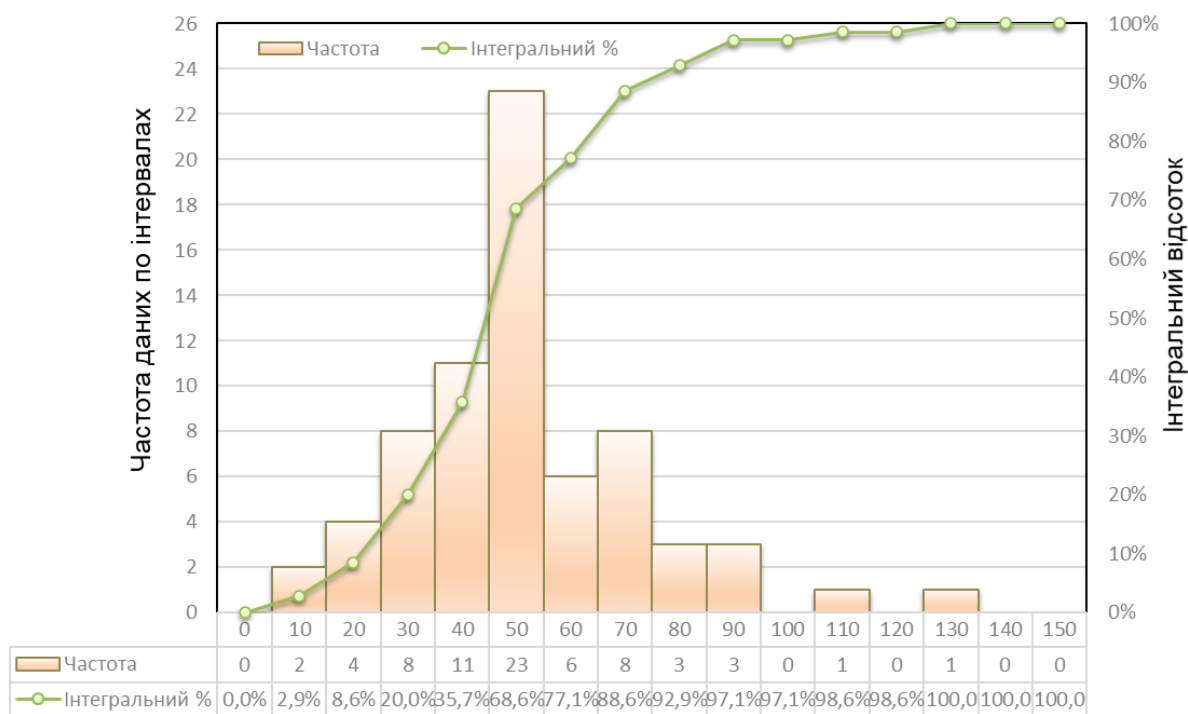


Рисунок 11.10 – Гістограма розподілу вибірки даних швидкостей ТЗ при наїзді на пішохода з потерпілими середньої тяжкості

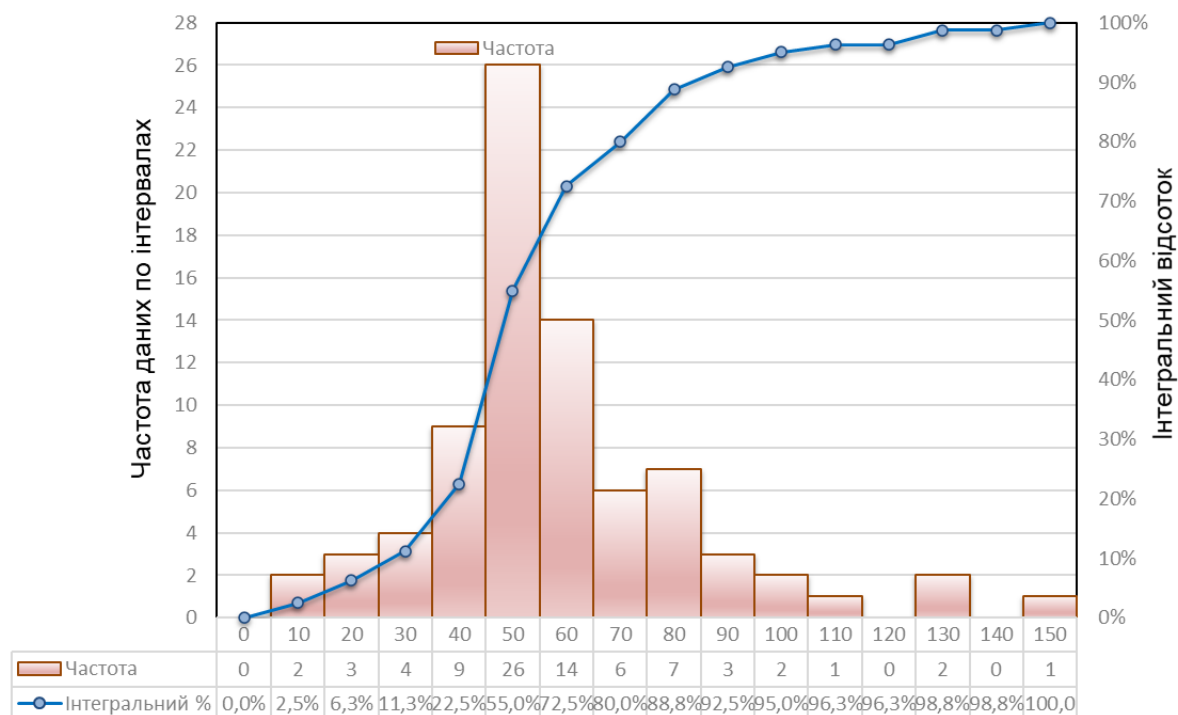


Рисунок 11.11 – Гістограма розподілу вибірки даних швидкостей ТЗ при наїзді на пішохода з тяжкими потерпілими або загиблими

Результати перевірки ступеня значущості різниці розподілів вибірок швидкостей ТЗ при наїзді на пішохода наведені на рис. 11.12.

Двовибірковий t-тест з різними дисперсіями		
	Вибірка1	Вибірка2
Спостереження	49,24285714	57,15
Дисперсія	429,1430642	593,9265823
Спостереження	70	80
Гіпотетична різниця середніх	0	
df	148	
t-статистика	-2,147705209	
P(T<=t) одностороннє	0,016682641	
t критичне одностороннє	1,655214506	
P(T<=t) двостороннє	0,033365281	
t критичне двостороннє	1,976122494	

Рисунок 11.12 – Результати аналізу ступеня значущості отриманої різниці для вибірок швидкостей ТЗ при зіткненні

Оскільки розраховане значення t -статистики менше t -критичного одностороннього, але більше t -критичного двостороннього, ми можемо відкинути нульову гіпотезу про рівність масивів з рівнем значимості 0,05 з використанням одностороннього тесту та не можемо відкинути її за допомогою двостороннього тесту. Тобто, односторонній тест вказує на статистично значущу різницю між масивами, двосторонній тест не вказує на статистично значущу різницю між масивами. Зазвичай односторонні тести використовуються, коли є апіорне очікування того, що один масив буде більшим або меншим за інший, в іншому випадку рекомендується використовувати двосторонній тест.

В даному випадку, оскільки висновки одностороннього та двостороннього тестів розрізняються, необхідний більш розширений аналіз, щоб визначити, чи є різниця між масивами практично значущою і чи має вона теоретичне обґрунтування. Одним із шляхів підвищення ступеня достовірності результатів дослідження за даною методикою є збільшення обсягів вибірки даних, томе є сенс у продовженні досліджень з використанням значень швидкості руху ТЗ, що потрапили в ДТП, отриманих за результатами проведених експертиз події.

З таблиці 11.5 можна бачити, що для вибірок швидкостей ТЗ, які здійснили наїзд на пішохода, спостерігається найбільша відмінність між середньозваженими значеннями швидкостей в залежності від тяжкості наслідків ДТП, яке становить 8 км/год. Це може вказувати на збільшення тяжкості наслідків ДТП при збільшенні швидкості руху ТЗ при наїзді на пішохода.

12 ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Штучний інтелект є ключовим фактором у цифровій трансформації економіки та одним з найбільш швидкозростаючих технологічних сегментів. Він пропонує інтелектуальні рішення в різних економічних і соціальних сферах, включаючи виробництво, транспортну галузь, сільське господарство, фінанси, страхування, оптову та роздрібну торгівлю, охорону здоров'я, надання послуг, телекомунікації та інші галузі. Перспективи використання штучного інтелекту надзвичайно широкі, оскільки алгоритми, що обробляють величезні обсяги інформації щогодини, можуть виявляти причинно-наслідкові зв'язки, що виходять за рамки людських можливостей, зробити прогнози точнішими і рішення ефективнішими [117].

Міський рух є вкрай динамічним середовищем, де різні учасники, використовуючи різні види транспорту, складно взаємодіють між собою. Це потребує прийняття рішень в реальному часі для забезпечення безпеки та зручності всіх учасників руху. Планування в такому середовищі є надзвичайно складною задачею. Однак завдяки технологіям, заснованим на штучному інтелекті, вже досягнуто значних успіхів у вирішенні найактуальніших проблем управління транспортом та в організації дорожнього руху.

Аналізуючи дані про дорожній рух та враховуючи зовнішні фактори, штучний інтелект може прогнозувати рух транспорту. Наприклад, враховуючи погодні умови, події та ремонти доріг, система може точно передбачати можливі сценарії руху та виявляти потенційні точки затору ще до їх виникнення. Це дає змогу вчасно вживати заходів для запобігання заторам та надмірній витраті часу учасників дорожнього руху. Однією з переваг моделювання є можливість використання великого обсягу даних для тренування та удосконалення системи. Це дає змогу системі вивчати та адаптуватися до змін у дорожньому середовищі, щоб надавати точні, актуальні та реалістичні прогнози. Моделі також можуть враховувати історичні дані, щоб виявити тенденції та зрозуміти еволюцію дорожнього руху в певному регіоні чи місті [118].

Аналізуючи дорожні умови, режим руху та поведінку водіїв, системи на основі штучного інтелекту можуть прогнозувати ймовірність аварій. Це дозволяє ефективно вживати цілеспрямованих заходів для запобігання аваріям та збереження життів.

Одним із найперспективніших застосувань штучного інтелекту є оптимізація часу сигналів світлофорів. Аналізуючи дані в режимі реального часу з дорожніх камер, алгоритми штучного інтелекту можуть динамічно регулювати час сигналу, щоб максимізувати транспортний потік і мінімізувати затримки. Наприклад, у пікові години, коли транспортний потік є найбільшим, світлофори можуть працювати в режимі, що забезпечує якнайшвидше перетинання вулиць. У нічний час, коли рух набагато менший, система може налаштовувати світлофори для економії енергії та забезпечення безпеки. Цей підхід уже успішно реалізовано, наприклад, у Пітсбургу, де використання світлофорів на основі штучного інтелекту дало змогу скоротити до 25 % часу в дорозі та на 40 % знизити викиди транспортних засобів [118].

Впровадження штучного інтелекту в сферу дорожнього руху може позбавити її від таких небезпечних порушень, як керування транспортним засобом у стані сп'яніння, хворобливому, стомленому стані чи під впливом певних медичних препаратів. Керування автотранспортом штучним інтелектом сприятиме виключенню багатьох умисних і необережних порушень правил безпеки дорожнього руху, що обумовлюють вчинення дорожньо-транспортної пригоди (ДТП), а саме: перевищення швидкості руху; виїзд на зустрічну смугу руху; порушень правил проїзду перехресть, залізничних переїздів тощо. При цьому, враховуючи, що найбільшу питому вагу всіх аварій складають зіткнення транспортних засобів та наїзди на пішоходів, потенційні можливості запобігання аварійності при впровадженні безпілотного автотранспорту вдаються цілком очевидними [119].

Штучний інтелект, аналізуючи дані про стан трафіку, рівень заторів та інші фактори, може рекомендувати водіям альтернативні маршрути. Наприклад, якщо на основному маршруті є значні затори, система може пропонувати інший шлях, який може бути швидшим і ефективнішим. Це допомагає зменшити витрати часу і поліпшує зручність подорожі.

Сьогодні в багатьох країнах існують мобільні додатки або онлайн-сервіси, завдяки яким пасажери дізнаються, де перебуває потрібний їм транспорт. Вони стежать за своїм маршрутом і бачать час, коли підходящий для них автобус або трамвай прибуде на зупинку.

Серед таких сервісів є додаток Trafi, який показує рух громадського транспорту в режимі реального часу і прокладає маршрути для користувачів. Додаток доступний в Іспанії, Латвії, Естонії, Бразилії, Туреччині та інших країнах у всьому світі [120].

Для оптимізації транспортного потоку компанія Phoenix Contact розробила систему Smart Road Interface. Інтелектуальна система реєстрації збирає анонімізовані дані про транспортні потоки й оцінює їх за допомогою штучного інтелекту. Отримані дані про типи транспортних засобів, кількість автомобілів та напрямки руху можна передавати на системи керування або безпосередньо учасникам дорожнього руху [121].

В Італії доступний в автономній версії або інтегрований в інші консолі управління, MagicBox розширює можливості нових та існуючих систем відеоспостереження, забезпечуючи автоматичне розпізнавання подій, людей та категорій об'єктів за допомогою аналізу відео за допомогою штучного інтелекту. Відеосистема ViMS централізує відеоспостереження та пристрої зчитування номерних знаків, забезпечення всебічного моніторингу в міських і приміських районах завдяки можливості оперативно повідомляти про транзит транспортних засобів. Його рідна інтеграція з приватними та інституційними базами даних дозволяє негайне сповіщення кожного разу, коли виявлено транзит позначеного номерного знаку. Інтеграція з AI MagicBox дозволяє ще більше розширити діяльність територіального контролю за рахунок розпізнавання додаткових типів подій: порушення правил паркування, неправильний проїзд і проїзд по смузі (рис. 12.1) [122].



Рисунок 12.1 - Інтеграція відеосистеми ViMS з AI MagicBox [6]

В місті Бурса (Туреччина) був реалізований «Проект міського центру управління дорожнім рухом», в який увійшли система моніторингу, інспектування, спрямування та контролю руху, систематичне виявлення заторів на магістральних магістралях та автоматична активація сценаріїв усунення заторів шляхом спостереження за ними за допомогою камер, централізоване управління пристроями контролю перехресть, підвищення безпеки руху за допомогою штучного інтелекту (рис. 12.2) [123].

Комунальне підприємство «Центр організації дорожнього руху» м. Київ в 2019 році оголосило тендери на закупівлю програмного забезпечення для підрахунку і аналізу поведінки автомобілів за допомогою штучного інтелекту та камер для аналізу трафіка на столичних дорогах [124].

Для ефективної роботи системи з використанням штучного інтелекту необхідно мати потужні сервери, оскільки аналіз великих обсягів даних в реальному часі потребує значних обчислювальних ресурсів.

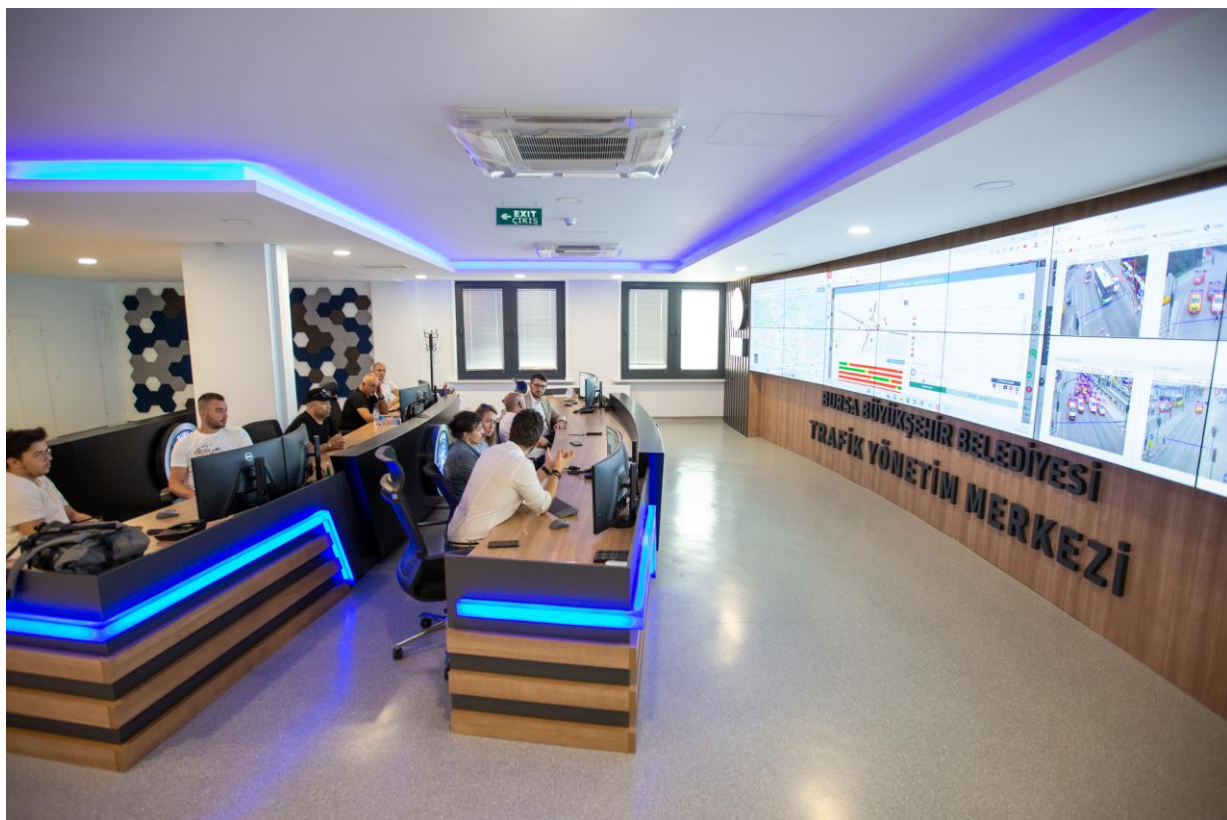


Рисунок 12.2 - Центр управління дорожнім рухом м. Бурса (Туреччина)

13 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КАНАЛІЗУВАННЯ РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ

Дорожня інфраструктура та організація дорожнього руху (ОДР) в Україні, нажаль, поки що так і не відповідають сучасному рівню автомобілізації та викликають проблеми з мобільністю та безпекою громадян. Критична ситуація, що склалася в галузі забезпечення безпеки дорожнього руху, продовжує погіршуватися і зараз: високий рівень аварійності та тяжкості наслідків ДТП [125]; зростаюча диспропорція між приростом кількості транспортних засобів (ТЗ) та станом дорожньої інфраструктури; низький рівень безпеки при перевезеннях пасажирів та вантажів, у тому числі небезпечних; недостатнє залучення населення та громадських організацій у роботу щодо запобігання аварійності на дорогах тощо. Саме тому, необхідність забезпечувати заходи, які підвищуватимуть як безпеку всіх учасників дорожнього руху, так і ефективність дорожнього руху, є достатньо актуальною.

Одним з таких заходів ОДР ТЗ є каналізування дорожнього руху, яке забезпечує безпеку, ефективність та плавність руху. Впровадження каналізованого руху на елементах вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міст дозволяє управляти потоком транспорту та запобігати утворенню заторів [126].

Прикладами заходів каналізування дорожнього руху є [127]:

- поділ транспортних потоків (ТП), тобто поділ дороги на різні лінії руху для різних видів транспорту або напрямків руху. Наприклад, дорога може бути розділена на смуги для руху прямо, повороту праворуч та повороту ліворуч.
- регулювання світлофорами — встановлення світлофорів на перехрестях для регулювання потоку транспорту. Світлофори дозволяють різним напрямкам руху чергуватись, що полегшує організацію руху.
- встановлення знаків, які вказують на дозволені напрямки руху, обмеження швидкості, пріоритети та іншу інформацію та нанесення розмітки як на дорогах або смугах, так і на перехрестях.

- планування та будівництво дорожньої інфраструктури задля забезпечення плавності руху, що може включати круговий рух, дорожні роз'їзди, різнорівневі перетинання та інші елементи.

- управління тимчасовими обмеженнями, тобто тимчасові заходи, такі як запровадження тимчасових обмежень на рух у певних районах або у певний час доби, щоб упоратися з підвищеним трафіком.

- використання таких інтелектуальних систем керування трафіком для оптимізації потоку транспорту як, наприклад, системи "розумних" світлофорів та системи адаптивного керування трафіком.

Всі ці заходи спрямовані на покращення безпеки на дорогах, зменшення заторів, скорочення часу у дорозі та підвищення ефективності функціонування транспортної системи. Тобто впровадження каналізованого дорожнього руху може призвести до наступних позитивних результатів [128]:

- поліпшення плавності руху шляхом поділу потоків або регулювання світлофорами, що може знизити можливість утворення заторів у перехрест'ях, а це сприяє економії часу та палива для водіїв.

- зниження аварійності дозволяє знизити кількість аварій та зіткнень на дорогах, оскільки правила руху та сигналізація сприяють більш передбачуваний та безпечній поведінці водіїв.

- оптимізація використання дорожньої інфраструктури - ефективне керування рухом дозволяє ефективніше використовувати наявну дорожню інфраструктуру (наприклад, правильне планування смуг руху та перехрест'я може збільшити пропускну спроможність дороги).

- скорочення часу в дорозі - поліпшений рух та зниження заторів призводять до зменшення часу, що проводиться у дорозі, для водіїв та пасажирів (це може мати позитивний вплив на економіку та якість життя людей).

- зниження викидів шкідливих речовин - ефективніший рух дозволяє зменшити кількість часу, що проводиться ТЗ на дорозі, що в свою чергу може знизити викиди вихлопних газів та інших шкідливих речовин в атмосферу.

- поліпшення громадського транспорту, оскільки каналізація руху також може включати краще інтегрування громадського транспорту в систему переміщення, що сприяє зручності і доступності громадського транспорту для пасажирів.

Однак, успішне впровадження каналізованого руху потребує комплексного та добре продуманого підходу. Це може включати аналіз потоків руху, проектування дорожньої інфраструктури, впровадження технічних рішень (наприклад, інтелектуальних систем управління трафіком) і освітні заходи для водіїв і пішоходів.

Метою дослідження є аналіз впливу організації каналізованого руху на показники ефективності функціонування транспортної мережі. В якості об'єкту дослідження буде обрано дорожній рух на ділянці ВДМ міста. Для реалізації мети необхідно провести дослідження дорожніх умов та параметрів транспортних і пішохідних потоків, на основі яких стане можливим розробити імітаційні транспортні моделі досліджуємої ділянки у програмному середовищі PTV Vision VISSIM [129]. Для дослідження було обрано ділянку ВДМ в центральній частині м. Харків (див. рис. 13.1).

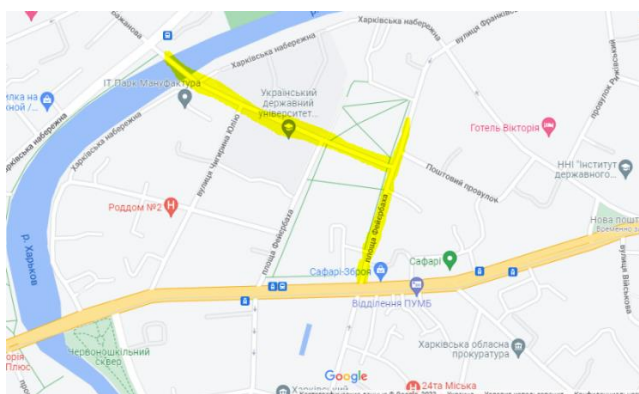


Рисунок 13.1 – Позначення досліджуваної ділянки ВДМ на карті м. Харків

Дана ділянка ВДМ складається з наступних елементів:

- площа Фейєрбаха – це магістральна вулиця районного значення з одностороннім рухом, ширина проїзної частини – 9 м;
- провулок Фейєрбаха – виконує функцію магістральної вулиці районного значення – зв'язує кореспонденції з просп. Героїв Харкова, просп. Гагаріна, площі

Фейєрбаха та вул. Франківської з Харківською набережною, вул. Шевченка та вул. Маршала Бажанова, має двосторонній рух, ширина проїзної частини – 9 м;

- вул. Франківська (вул. Примерівська) – це місцева вулиця, але виконує функцію магістральної вулиці районного значення, пов'язуючи транспортним зв'язком просп. Героїв Харкова з пров. Фейєрбаха, має односторонній рух, ширина проїзної частини – 8 м;

- перехрестя площа Фейєрбаха – вул. Франківська (вул. Примерівська) – пров. Фейєрбаха;

- регульоване перехрестя площа Фейєрбаха – пров. Фейєрбаха (біля Українського державного університету залізничного транспорту);

- перехрестя пров. Фейєрбаха – вул. Чигирин Юлію;

- регульоване перехрестя пров. Фейєрбаха – Харківська набережна – вул. Шевченка – вул. Маршала Бажанова.

Як видно із супутникових знімків (див. рис. 13.2), на досліджуваній ділянці ВДМ відсутня дорожня розмітка, яка розділяє як попутні так і протилежні транспортні потоки, не влаштовано каналізування руху. Проїзна частина розділена порівну як для попутних, так і для протилежних напрямків руху (див. рис. 13.3).



площа Фейєрбаха – вул. Франківська – пров. Фейєрбаха



пров. Фейєрбаха

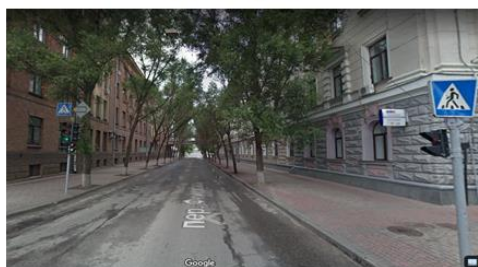


Рисунок 13.2 – Супутникові знімки перехрестя площа Фейєрбаха – вул. Франківська - вул. Примерівська – пров. Фейєрбаха

Згідно досліджень, інтенсивність ТП на вході до ділянки, що досліджується, на площі Фейєрбаха змінюється від 200 авт./год. в міжпікові періоди, до 900...1000 авт./год. в годину «пік». По вул. Франківська (вул. Примерівська) інтенсивність ТП змінюється в межах від 200 авт./год до 600 авт./год. На іншому вході до досліджуваної ділянки – Горбатий міст – інтенсивність змінюється в межах від 200 авт./год. до 900 авт./год.

На регульованому перехресті площа Фейєрбаха – пров. Фейєрбаха (біля Українського державного університету залізничного транспорту) організовано двофазний роз'їзд, тривалість циклу становить 50 с, тривалість фази 1 (рух ТЗ по пров. Фейєрбаха) – 30 с, тривалість фази 2 – 20 с. На регульованому перехресті пров. Фейєрбаха – Харківська набережна – вул. Шевченка – вул. Маршала Бажанова тривалість циклу становить 60 с, організовано трифазний роз'їзд: фаза 1 – рух по вул. Шевченка прямо і праворуч, по Харківській набережній – рух в усіх напрямках – 20 с; фаза 2 – рух по вул. Шевченка в усіх напрямках (увімкнено додаткову ліву секцію) – 15 с; фаза 3 – рух ТЗ з Горбатого мосту (пров. Фейєрбаха) в усіх напрямках – 25 с.



Рисунок 13.3– Існуючий поперечний профіль елементів досліджуємої ділянки
ВДМ

Для побудови моделі функціонування об'єкту дослідження в роботі було використано спеціалізоване програмне забезпечення PTV Vision VISSIM. В якості критеріїв ефективності функціонування транспортної мережі в моделі, що описує досліджувану ділянку ВДМ, застосовувались наступні показники: середня довжина затору, м; середній час затримки ТЗ, с; кількість зупинок ТЗ без урахування зупинок на парковках, од./авт.; рівень обслуговування – якість транспортного руху. Слід зазначити, що при розробці моделі не враховано рух транспорту по вул. Чигиріна Юлія та, відповідно, не відображено перехрестя із цією вулицею, оскільки там незначні інтенсивності ТП (до 70 авт./год.) та на перехресті немає ніяких складностей роз'їзду.

Розроблена модель функціонування ділянки ВДМ в програмному забезпеченні PTV Vision VISSIM в процесі імітації руху ТЗ мережею наведена на рис. 13.4.

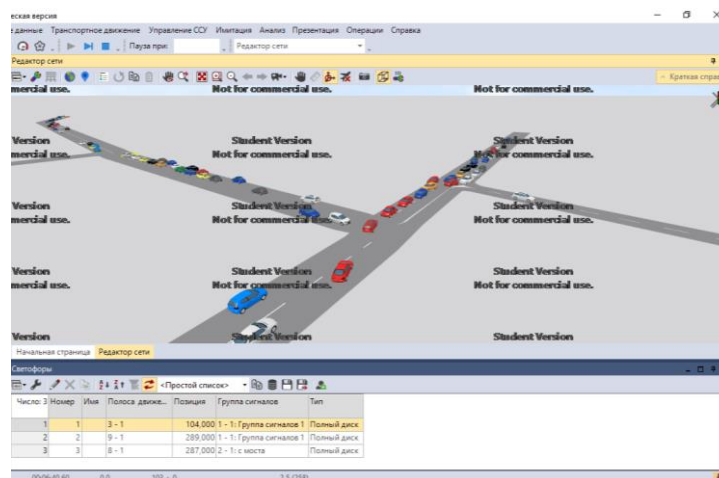


Рисунок 13.4 – Вікно програми в процесі імітації в навантаженій мережі

Після проведення калібрування та верифікації моделі (для чого навантажували модель ТЗ до значень, які перевищують можливі значення реальних потоків, модель поводити себе адекватно) переходимо до оцінки функціонування досліджуваної ділянки ВДМ (див. рис. 13.5) [130].

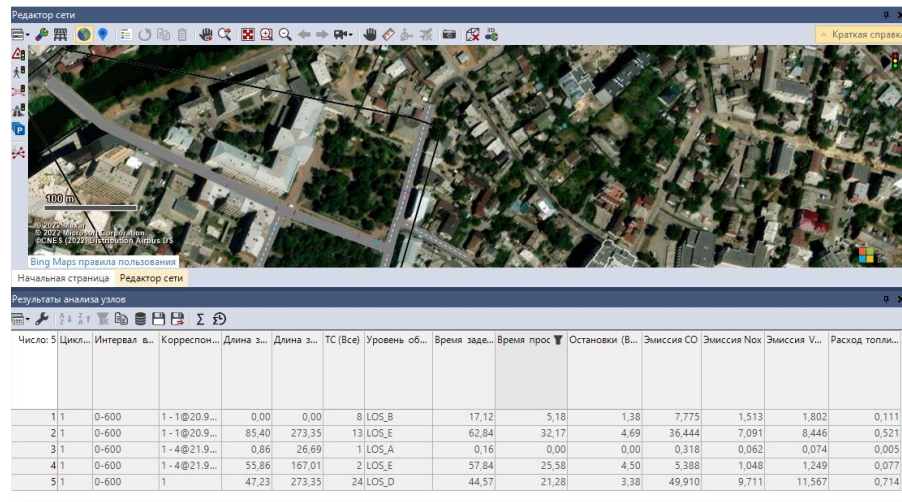


Рисунок 13.5 – Вікно аналізу «Результати аналізу вузлів»

Далі проведемо каналізування руху на досліджуваній ділянці ВДМ. Перш за все, раціонально розподілимо існуючу ширину проїзної за напрямками руху. Оскільки інтенсивність ТП в напрямку Горбатого моста, вул. Шевченка майже в 2 рази більше, ніж інтенсивність з вул. Шевченка, доцільно розподілити смуги руху по пров. Фейербаха наступним чином:

- 2 смуги руху по 3 м кожна в напрямку вул. Шевченка (до Горбатого мосту);
- 1 смуга руху шириною 3 м в напрямку від вул. Шевченка.

На правій частині проїзної частини площі Фейербаха припарковано ТЗ. Для раціонального розподілу проїзної частини доцільно організувати смугу для паркування справа завширшки 2,5 м, а решту частину розділити на 2 смуги.

На перехресті площа Фейербаха – вул. Франківська - вул. Примерівська – пров. Фейербаха провести повне каналізування руху ТЗ, причому з площі Фейербаха організувати поворот ліворуч на пров. Фейербаха в одну смугу, друга смуга вул. Франківської відведена на поворот праворуч на пров. Поштовий; правий поворот з вул. Франківська на пров. Фейербаха організувати в одну смугу, друга смуга вул. Франківська відведена для лівого повороту на пров. Поштовий.

Запропоновані поперечні профілі пров. Фейербаха та площі Фейербаха наведені на рис. 13.6.



Рисунок 13.6 – Запропоновані поперечні профілі елементів досліджуємої ділянки ВДМ

Раціональний перерозподіл ширини проїзної частини площі Фейербаха та пров. Фейербаха за напрямками був реалізований в транспортній моделі досліджуваної ділянки ВДМ. Для цього на відрізках площі Фейербаха та пров. Фейербаха робимо по 3 смуги. Перехрестя площа Фейербаха – вул. Франківська - вул. Примерівська – пров. Фейербаха також підлягає змінам. На рис. 13.7 наведено візуалізацію запропонованого варіанту моделі в програмному забезпеченні PTV Vision VISSIM.



Рисунок 13.7 – Каналізування руху на перехресті площа Фейербаха – вул. Франківська - вул. Примерівська – пров. Фейербаха

Оскільки впродовж доби на досліджуваній ділянці ВДМ змінюється інтенсивність руху, проводилось варіювання значень вхідних ТП згідно табл. 13.1.

Таблиця 13.1 – Варіювання інтенсивністю ТП

Потік	Джерело	Значення інтенсивності ТП				
1	Горбатий міст	200	375	550	725	900
2	площа Фейєрбаха	200	400	600	800	1000
3	вул. Франківська	200	300	400	500	600
Разом		600	1075	1550	2025	2500

Після розрахунку параметрів моделі при двох варіантах транспортної мережі (без каналізування і з каналізуванням ТП), а також при зміні вхідних параметрів моделі, тобто інтенсивності ТП, маємо наступні результати (див. табл. 2, табл. 3).

Таблиця 13.2 – Характеристики моделі без каналізованого руху

Цикл імітації	Середня довжина затору, м	Максимальна довжина затору за час імітації, м	Кількість ТЗ, що прямували даним напрямком, авт./год.	Рівень обслуговування	Середній час затримки одного ТЗ, с/авт.	Середній час простою кожного ТЗ, с	Середня кількість зупинок ТЗ без урахування зупинок на парковках, од./авт.
1	0,27	16,92	600	LOS_A	7,23	1,43	0,25
2	0,36	19,77	1075	LOS_A	2,11	0,53	0,07
3	2,21	50,68	1550	LOS_A	9,77	5,41	0,72
4	12,64	174,83	2025	LOS_B	19,16	11,07	1,74
5	44,45	273,34	2500	LOS_D	36,38	22,14	2,44

Таблиця 13.3 – Характеристики моделі із застосуванням каналізованого руху

Цикл імітації	Середня довжина затору, м	Максимальна довжина затору за час імітації, м	Кількість ТЗ, що прямували даним напрямком, авт./год	Рівень обслуговування	Середній час затримки одного ТЗ, с/авт.	Середній час простою кожного ТЗ, с	Середня кількість зупинок ТЗ без урахування зупинок на парковках, од./авт.
1	0,43	20,12	600	LOS_A	6,34	2,51	0,5
2	0,64	28,71	1075	LOS_A	2,16	0,72	0,14
3	2,1	48,87	1550	LOS_A	8,17	4,47	0,61
4	7,01	148,62	2025	LOS_B	15,82	7,39	1,15
5	30,45	253,89	2500	LOS_C	33,41	17,37	2,17

У відповідності із розрахунками параметрів транспортної моделі ділянки ВДМ при різних варіантах організації руху (табл. 13.2, табл. 13.3), можна стверджувати, що застосування каналізованого руху транспорту є доцільним (див. рис. 13.8). Причому, із збільшенням значень вхідних потоків транспорту різниця між показниками ефективності транспортної мережі при організації каналізованого руху та без його застосування значно збільшується.

Оцінку впливу організації каналізованого руху в залежності від інтенсивності ТП на показники ефективності транспортної мережі представлено у вигляді вибору залежностей, рівняння ліній трендів наведено в табл. 13.4 - табл. 13.6., а самі залежності наведені на рис. 13.9 – рис. 13.11 та вказують на те, що із збільшенням інтенсивності ТП збільшуються відповідно середня довжина затору, середня затримка руху одного ТЗ та середня кількість зупинок одного ТЗ як без застосування каналізованого руху, так й з каналізацією руху.

Обрані рівняння регресії зміни показників ефективності транспортної мережі (за найбільшим значенням коефіцієнту детермінації [6]) наведено в табл. 7. За отриманими залежностями (табл. 13.7) будуємо графіки доцільності організації каналізованого руху (див. рис. 13.12).

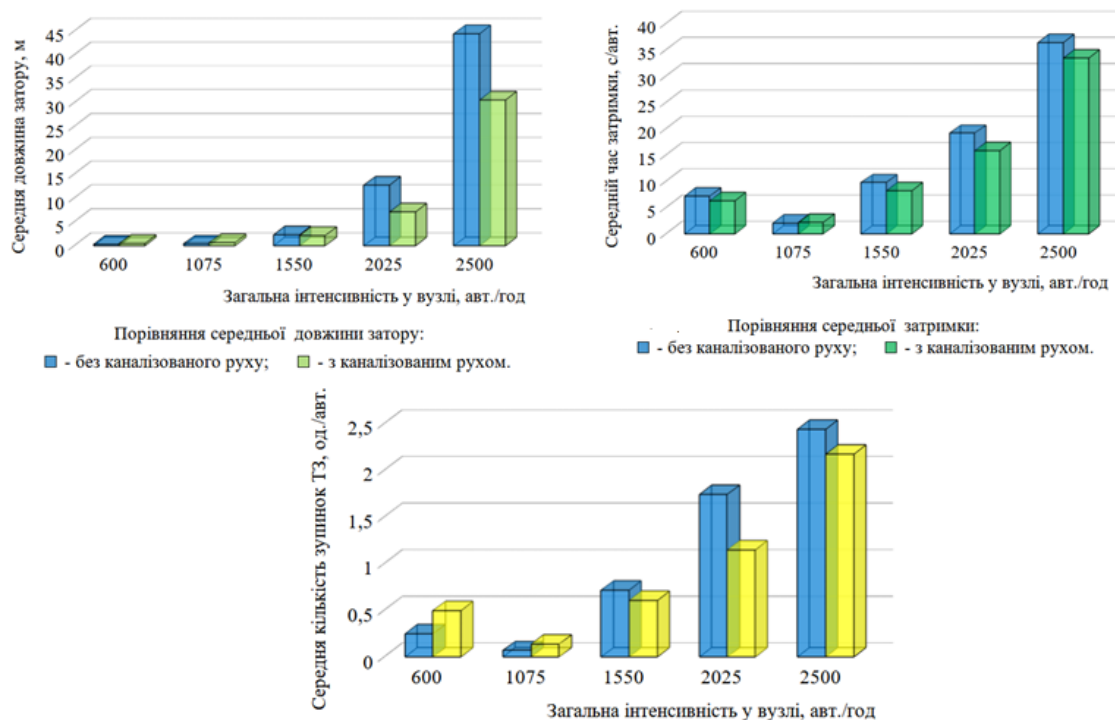


Рисунок 13.8 – Порівняння показників ефективності транспортної мережі при різних схемах ОДР

Таблиця 13.4 – Залежність середньої довжини затору

Залежність		Коефіцієнт детермінації
<i>без каналізованого руху</i>		
Лінійна	$y = 0,0212x - 20,854$	$R^2 = 0,7121$
Експоненційна	$y = 0,0292e^{0,0029x}$	$R^2 = 0,9656$
Поліноміальна	$y = 2E-05x^2 - 0,0495x + 23,634$	$R^2 = 0,9726$
Ступенева	$y = 8E-12x^{3,6658}$	$R^2 = 0,8695$
<i>з каналізованим рухом</i>		
Лінійна	$y = 0,014x - 13,545$	$R^2 = 0,6773$
Експоненційна	$y = 0,0744e^{0,0023x}$	$R^2 = 0,9694$
Поліноміальна	$y = 2E-05x^2 - 0,035x + 17,286$	$R^2 = 0,9505$
Ступенева	$y = 2E-09x^{2,8876}$	$R^2 = 0,8617$

Таблиця 13.5 - Залежність середньої руху одного ТЗ

Залежність		Коефіцієнт детермінації
<i>без каналізованого руху</i>		
Лінійна	$y = 0,0159x - 9,6579$	$R^2 = 0,7796$
Експоненційна	$y = 1,7088e^{0,0011x}$	$R^2 = 0,6404$
Поліноміальна	$y = 1E-05x^2 - 0,0297x + 19,011$	$R^2 = 0,9909$
Ступенева	$y = 0,0007x^{1,3174}$	$R^2 = 0,4773$
<i>з каналізованим рухом</i>		
Лінійна	$y = 0,0143x - 8,9442$	$R^2 = 0,7541$
Експоненційна	$y = 1,589e^{0,0011x}$	$R^2 = 0,6715$
Поліноміальна	$y = 1E-05x^2 - 0,0301x + 18,965$	$R^2 = 0,9933$
Ступенева	$y = 0,0008x^{1,2859}$	$R^2 = 0,499$

Таблиця 13.6 – Залежність середньої кількості зупинок одного ТЗ

Залежність		Коефіцієнт детермінації
<i>без каналізованого руху</i>		
Лінійна	$y = 0,0013x - 0,9302$	$R^2 = 0,889$
Експоненційна	$y = 0,0441e^{0,0016x}$	$R^2 = 0,7111$
Поліноміальна	$y = 7E-07x^2 - 0,0008x + 0,3856$	$R^2 = 0,9677$
Ступенева	$y = 3E-07x^{1,9923}$	$R^2 = 0,5937$
<i>з каналізованим рухом</i>		
Лінійна	$y = 0,0009x - 0,5055$	$R^2 = 0,7581$
Експоненційна	$y = 0,1233e^{0,0011x}$	$R^2 = 0,6041$
Поліноміальна	$y = 9E-07x^2 - 0,0019x + 1,2427$	$R^2 = 0,9873$
Ступенева	$y = 0,0001x^{1,2049}$	$R^2 = 0,4381$

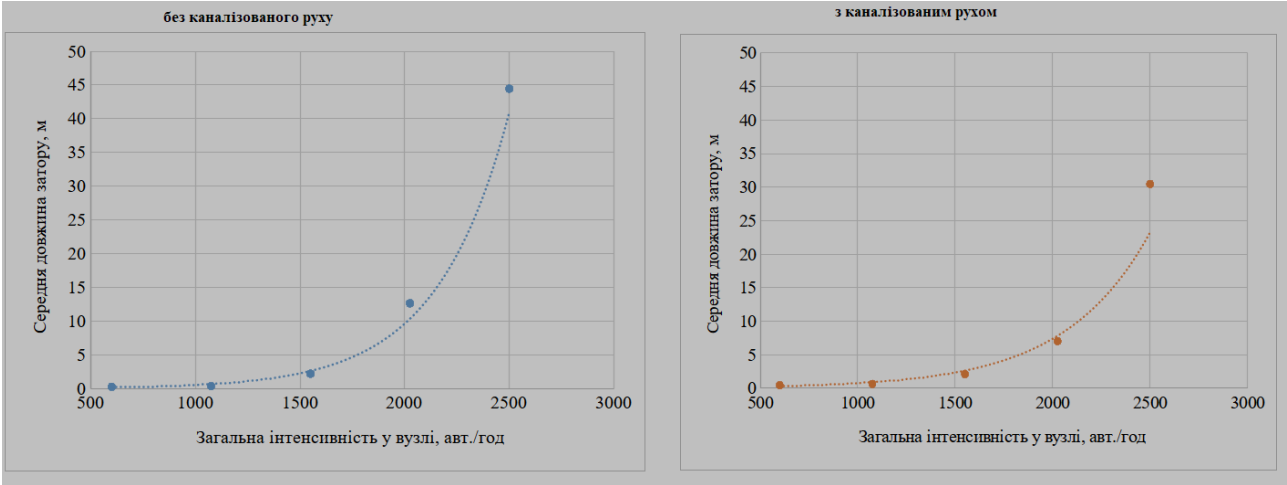


Рисунок 13.9 – Залежність середньої довжини затору при різних схемах ОДР

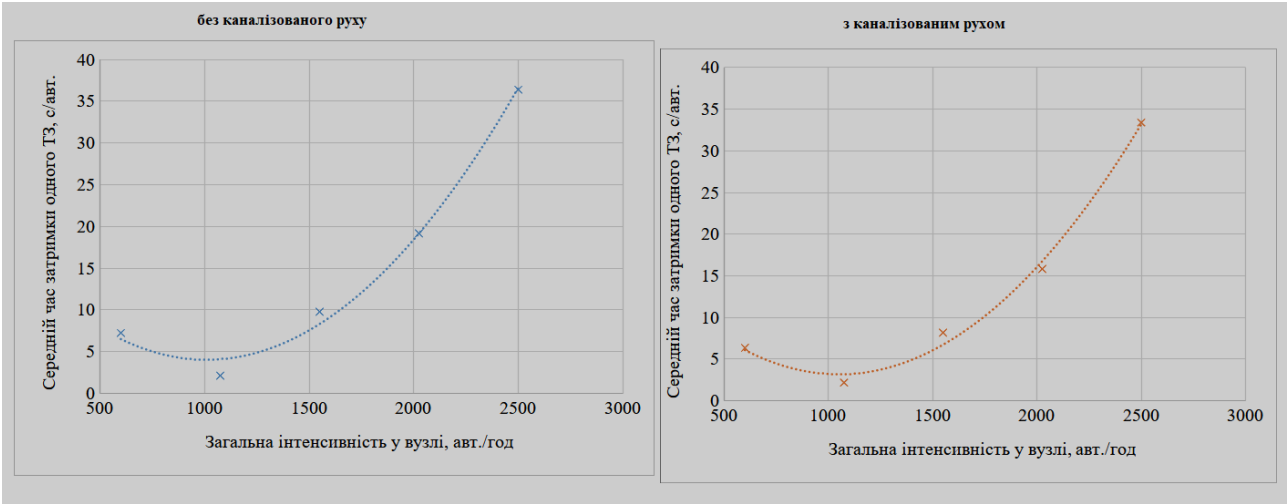


Рисунок 13.10 – Залежність середньої затримки руху при різних схемах ОДР

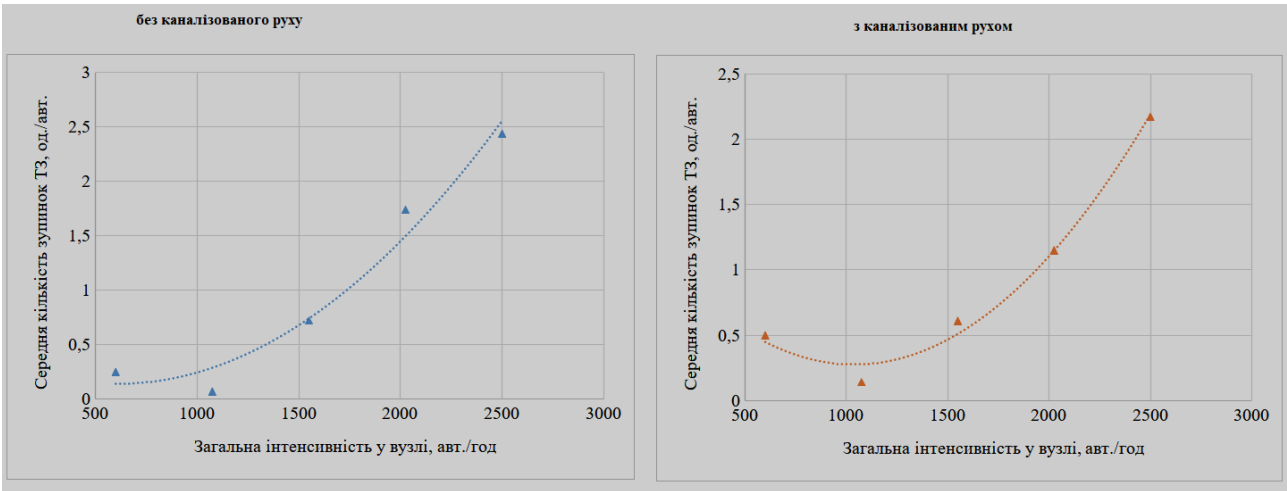


Рисунок 13.11 – Залежність середньої кількості зупинок одного ТЗ при різних схемах

Таблиця 13.7 – Рівняння залежностей показників ефективності транспортної мережі

Залежність		Коефіцієнт детермінації
<i>без каналізованого руху</i>		
Середня довжина затору	$L_{зат} = 0,0292e^{0,0029N}$	$R^2 = 0,9656$
Середня затримка руху одного ТЗ	$t_z = 1E - 05N^2 - 0,0297N + 19,011$	$R^2 = 0,9909$
Середня кількість зупинок ТЗ	$n_{зуп} = 7E - 07N^2 - 0,0008N + 0,3856$	$R^2 = 0,9677$
<i>з каналізованим рухом</i>		
Середня довжина затору	$L_{зат}^K = 0,0744e^{0,0023N}$	$R^2 = 0,9694$
Середня затримка руху одного ТЗ	$t_z^K = 1E - 05N^2 - 0,0301N + 18,965$	$R^2 = 0,9933$
Середня кількість зупинок ТЗ	$n_{зуп} = 9E - 07N^2 - 0,0019N + 1,2427$	$R^2 = 0,9873$

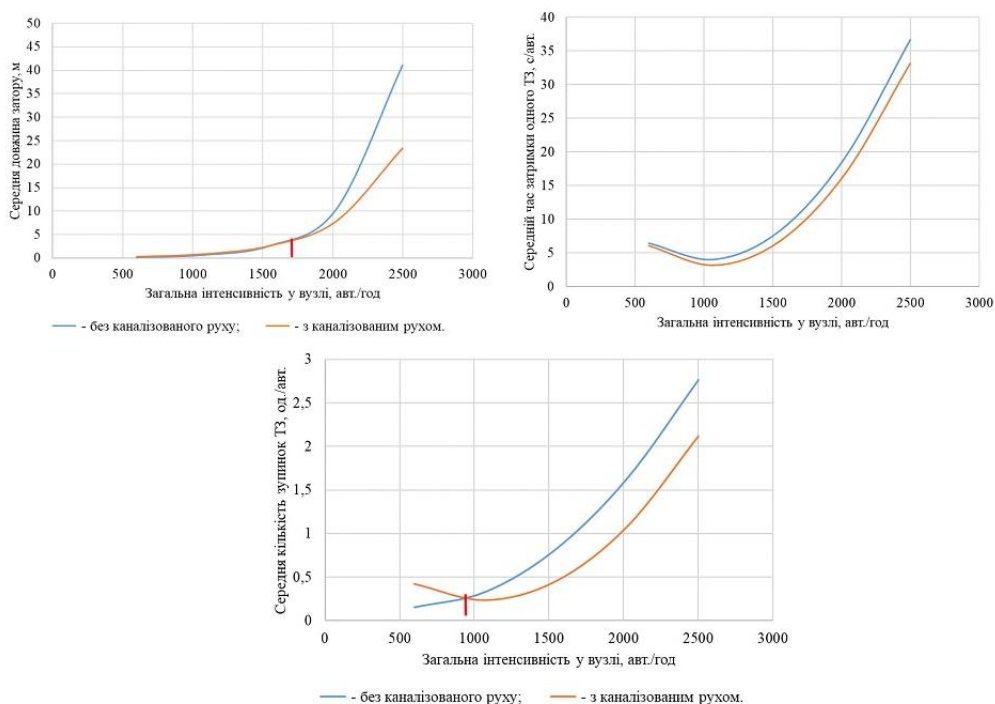


Рисунок 13.12 – Доцільність організації каналізованого руху за різними критеріями

ВИСНОВКИ

Науково-дослідна робота кафедри організації і безпеки дорожнього руху спрямована на вирішення актуальних питань перспективних напрямків підвищення безпеки дорожнього руху. Означена проблема потребує досліджень параметрів дорожнього руху як об'єкту досліджень, а також забезпечення його необхідною якістю, а саме безпекою.

Проблема оцінювання рівня безпеки дорожнього руху та методів його визначення актуально і по теперішній час. В зв'язку зі вступом нашої держави до ЄС необхідно вирішувати в першу чергу, шляхом удосконалення наявних і створення нових методів визначення рівня безпеки на автомобільних дорогах та шукати нові підходи до зближення нашої системи безпеки дорожнього руху до системи безпеки в країнах ЄС.

Надані практичні рекомендації з поліпшення екологічного навантаження підтверджують необхідність вибору найбільш раціональних заходів ОДР. Але вирішити проблему можливо при комплексному підході: зменшення токсичності викидів від кожного окремого АТЗ, раціональне планування газозахисних споруд та озеленіння і, головне, зміна транспортно-планувальних характеристик ВДМ разом з удосконаленням ОДР.

Оцінка екологічної безпеки перехрестя за результатами моделювання в PTV VISSIM на даний момент є найоптимальнішим варіантом, який враховує різні характеристики дорожнього руху, причому деякі з них більш точно, ніж інші методики (наприклад, склад ТП) та різні умови руху. Однак, застосування PTV-VISSIM вимагає збору досить великої кількості вхідних даних та досконалого відтворення умов реального руху.

Для моделювання транспортних потоків і зокрема розрахунку матриці транспортних кореспонденцій на даний час розроблено декілька підходів, які використовують різний математичний апарат. Найбільш широко застосовуються гравітаційні моделі, хоча закордонні дослідники надають перевагу ентропійним

підходам до розрахунку матриці кореспонденцій.

Однак питання класифікації об'єктів утворення і поглинання транспортних потоків та вплив їхніх особливостей на формування кореспонденцій у літературі висвітлене недостатньо. Отже, є доцільним при розрахунку матриці кореспонденцій враховувати вплив типу транспортних районів, оскільки очевидно, що транспортні кореспонденції формуються в залежності від забудови в транспортних районах, соціальних функцій районів та розташування об'єктів утворення і поглинання потоків на території міста.

При відбудові наших міст після перемоги у війні доцільно регульовані перехрестя розташовувати в просторі на постійній відстані 500 м, тоді затримки в обох напрямках руху будуть мінімальні.

При цьому реалізація контурного управління на ВДМ міста вимагає інформування водія щодо рекомендованої швидкості руху та змін в схемах організації дорожнього руху за напрямками на маршрутах руху. Тому потрібно реалізувати на ВДМ установку керованих дорожніх знаків із відображенням рекомендованої швидкості руху транспортного потоку на поточній ділянці контуру магістралей ВДМ.

У дослідженні запропоновано рішення організації рівномірного руху ТП на контурі магістралей міста, що базується на збільшенні ефективного часу T , а саме – на моделюванні надмірного часу циклу на перехрестях магістралі та обмеженості ширини стрічки часу.

Запропонований підхід оцінки проектів організації дорожнього руху із застосуванням узагальнюючого показника ефективності функціонування елементів ВДМ, який визначається на основі таксономічного аналізу, шляхом побудови «радару», дозволить об'єднувати показники ефективності різної фізичної природи в залежності від вирішуваної задачі і масштабу об'єкту проектування. Крім того такий підхід дозволить мінімізувати вплив суб'єктивних рішень, оскільки ґрунтується не на експертних оцінках, а на чіткому розрахунку узагальнюючого показника. Таким чином впровадження в національну практику організації дорожнього руху оцінки рішень, що приймаються дозволить підвищити якість проектів організації дорожнього руху.

Проведене дослідження методів організації руху і умов дорожнього руху на ВДМ міста дозволяє відмітити, що серед усіх методів найбільш сприятливими є методи організації руху з використанням технічних засобів регулювання руху.

На основі аналізу класифікації міських шляхів сполучення та відповідних умов організації руху в зоні розташування зупинкових пунктів громадського транспорту, виявлено фактори ризику сталого функціонування ділянки мережі.

Проведені натурні спостереження за умовами руху та умовами облаштування зупинок громадського транспорту дозволили сформулювати необхідний обсяг вихідної інформації для визначення показників ефективності функціонування обраних об'єктів. Оцінку ефективності дорожнього руху здійснено шляхом моделювання параметру рівня обслуговування при збільшенні інтенсивності як загального транспортного потоку, так і інтенсивності транспортних засобів громадського транспорту.

Для визначення пропускну здатності зупинкового пункту, що є основним критерієм в системі керування дорожнім рухом, використана базова модель керівництва Транспортної Дослідної Ради Національної Академії США (НСМ) з уточненням та адаптацією даних по тривалості обслуговування транспортних засобів громадського транспорту на зупинках до особливостей обраного об'єкту (тип ТЗ, тип вулиці, тип зупинки). Отримані в результаті дані можуть бути використані як рекомендації щодо застосування різного типу зупинок громадського транспорту в залежності від їх впливу на пропускну здатність ділянки ВДМ міста.

Запропонований підхід дозволяє формувати рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування ділянки на основі аналізу критичних інтенсивностей руху при яких стан потоку буде стрімко наблизатись до заторового.

Отримані результати імітаційного моделювання впровадження додаткових заходів ОДР у ситуації виникнення ДТП на підставі порівняльного аналізу соціальних та економічних критеріїв ефективності ДР стверджують, що реалізація прийнятого рішення є доцільним та дієвим заходом для підвищення ефективності ДР.

Покращення дорожніх умов на автомобільних дорогах не тільки підвищує рівень зручності руху транспортних потоків, але й призводить до зменшення

кількості ДТП та їх наслідків, що є вигідним для економіки та суспільства країни.

Оцінка рівнів зручності руху методологічно ґрунтується на визначенні цінності забезпечення дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування. Завдяки приведеній методології оцінки для кожної дороги можливим є визначення рівнів зручності: достатній, задовільний, недостатній, незадовільний та критичний. Виникнення останнього має привести до порушення безперервності у дорожньому русі – створенням транспортного затору. Рівні зручності відносяться за своїми показниками до ймовірнісних просторово-часових характеристик – тобто вони мають ймовірнісні характеристики у просторі та часі.

Таким чином, спираючись на сказане вище, стає очевидною проблема створення необхідного теоретичного пласта, що дозволяє, по-перше, усунути прогалини в фундаментальній транспортній теорії, утворену відсутністю математичного формалізму останньої, а по-друге, сформулювати і закласти основні закони структурно-функціональної взаємодії елементів ТЗ.

Усунення останніх передбачається здійснити за допомогою глибокого аналізу та виявлення природи транспортних конфліктів та розробки бази структурно-функціональної взаємодії елементів ТЗ, що забезпечує безперервність та безконфліктність транспортного процесу руху.

Аналіз великої кількості публікацій з питання впливу швидкості руху транспортних засобів (ТЗ) на тяжкість наслідків при їх потраплянні в ДТП вказують на високу кореляцію між цими величинами. Тому можна стверджувати, що літературні джерела одноголосно підтверджують, що швидкість автомобіля є критичним фактором, що визначає тяжкість наслідків ДТП. Збільшення швидкості збільшує ризик смертельного результату та тяжких травм для певних типів ДТП.

При цьому дослідниками використовуються різні методики як отримання даних про швидкість ТЗ, так і оцінки тяжкості наслідків ДТП. Однією із найбільш ефективних методик аналізу визнається методика оцінки швидкостей ТЗ, які були встановлені в результаті розслідування ДТП, та їх співставлення з фактичними наслідками події.

В проведених дослідженнях були використані дані про швидкості руху ТЗ, отримані за результатами експертиз ДТП, що були скоєні в м. Харкові та Харківській області. Загальний обсяг вибірки склав 372 події, які були розділені на дві групи за ступенем тяжкості наслідків: першу групу становили ДТП, де потерпілі зазнали середньої тяжкості тілесних ушкоджень, другу групу склали ДТП з тяжкими тілесними ушкодженнями або з загибеллю людини.

За результатами співставлення статистичних характеристик розподілів швидкостей ТЗ було встановлено збільшення середнього значення швидкостей ТЗ для ДТП з більш тяжкими наслідками, але оцінка достовірності результатів порівняння за t-критерієм Стюдента не дозволила встановити статистично значущої кореляції. Такі ж самі результати були отримані при порівнянні вибірок даних окремо для зіткнення ТЗ.

При порівнянні вибірок даних для ТЗ, що здійснили наїзд на пішохода, було встановлено перевищення середнього значення швидкості ТЗ для групи з більш тяжкими наслідками на 8 км/год. Також була встановлена можливість існування зв'язку між швидкістю ТЗ та ступенем тяжкості наслідків ДТП, але для підвищення ступеня достовірності результатів є доцільним проведення досліджень на вибірках більшого розміру.

Впровадження системи штучного інтелекту у сферу організації дорожнього руху вимагає значних витрат на встановлення та обслуговування камер і іншого обладнання, а також на навчання персоналу для правильної роботи з системою. Але штучний інтелект може стати ключовим інструментом для розв'язання складних проблем дорожнього руху та сприяти створенню більш безпечних, ефективних та сталих транспортних систем у містах, тому незважаючи на великі інвестиції в ці системи, треба використовувати їх в організації дорожнього руху.

В результаті досліджень доведено, що впровадження каналізованого руху на ВДМ міст є доцільним методом ОДР, ефективність від якого в середньому становить 30%. Отримані теоретичні залежності можна використовувати і для прогнозування ситуації з ОДР при зміні інтенсивності руху ТП на інших елементах ВДМ міст.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аудит безпеки дорожнього руху : підручник / Л. С. Абрамова та ін.; під заг. ред. І. С. Наглюка. Харків. нац. автомоб.-дорож. ун-т. Харків : ХНАДУ, 2016. - 259 с.
2. ДСТУ ISO 39001:2015 Системи управління безпекою дорожнього руху. Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 39001:2012, IDT). Наказ від 29.10.2015 № 101. [Чинний з 2016-01-01]. URL : https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/39001-2015_0.pdf
3. Птиця Г.Г. Визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.. техн.. наук: 05.22.01. Харків, 2016. - 21 с.
4. Про схвалення Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року. Розпорядження КМУ №1360-р від 21.10.2020 р. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1360-2020>
5. Практикум з проведення аудиту безпеки дорожнього руху / Л. С. Абрамова, І.С. Наглюк, В. В. Ширін та ін. Харків : ХНАДУ, 2018. - 129 с.
6. Назарова К.О., Микитюк І. С., Гоцуляк В. Д. Аудит безпеки руху як імператив глобалізаційних процесів та ефективного державного менеджменту. Бізнес Інформ. 2020. №6. - С. 235-244. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-6-235-244>
7. Практичний посібник для аудиторів та інспекторів безпеки автомобільних доріг. Спеціальне видання посібника, адаптоване до умов безпеки автомобільних доріг України, фінансоване глобальним фондом безпеки дорожнього руху Світового банку у рамках ініціативи глобальної безпеки автомобільних доріг благодійного фонду Блумберга. Белград : Авто-мото асоціація Сербії, Центр автотранспорту, 2022. - 74 с.
8. ДСТУ 2935:2018 Безпека дорожнього руху. Терміни та визначення понять. Наказ від 23.08.2018 № 298. [Чинний з 2019-06-01].

9. Гончаренко Ф. П. Теоретичні основи та практичні методи підвищення безпеки руху при експлуатації автомобільних доріг: монографія. Київ : 2000. - 352 с.
10. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2017. - 125 с. URL : https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Kashkanov_2017_125.pdf
11. Правила дорожнього руху: ПДР 2023. URL : <https://vodiy.ua/pdr/>
12. Руденко Д. В., Ренкас А. А., Товарянський В. І. Оцінка впливу дорожніх умов на аварійність із застосуванням багатофакторної моделі. Вісник ЛДУБЖД. №24, 2021. - С. 33-39. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.24.2021.04>
13. Абрамова Л. С. Довідковий словник термінів та визначень з організації та безпеки дорожнього руху: словник / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця, В.В. Ширін. Харків : ХНАДУ, 2016. - 220 с.
14. Вознюк А. Б., Нагребельна Л. П., Міненко Є. В. Недоліки в дорожніх умовах та їх вплив на виникнення дорожньо-транспортних пригод. Дороги і мости. 2019. Вип. 19-20. - С. 163-172. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.170>
15. Козар Д. Поняття та сутність безпеки дорожнього руху. Адміністративне право і процес. 2019. № 12. - С. 176-180. URL : <http://pgpjournal.kiev.ua/archive/2019/12/34.pdf>
16. Поліщук В. П., Лановий О. Т., Бондар Т.В. Визначення рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах загального користування. Вісник Національного транспортного університету. Випуск 15. В 2-х частинах: Ч. 2. Київ : НТУ, 2009. - С.113-121.
17. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / за заг.ред. В. П. Поліщука; О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. Київ : Знання України, 2012. - 467 с.
18. Птиця Г. Г., Абрамова Л. С. Аналіз підходів до реалізації системи управління безпекою дорожнього руху в Україні. Автомобільний транспорт. 2020. №17/2020. - С.33–41. URL <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/205290/205107>

19. Шаша І.К. Наукові основи забезпечення безпеки на автомобільному транспорті України : дис....д-ра техн. наук: 05.22.10 / Харків. нац. автомоб.-дорож. ун-т. Харків, 2006. - 332 с.
20. Транспортна екологія: навчальний посібник / за заг. ред. С. В. Бойченка. Київ: НАУ, 2017. 507 с.
21. Холодова О.О., Гнатушок Д.А. Аналіз впливу організації дорожнього руху на рівень забруднення атмосферного повітря в містах. *Інтелектуальні технології управління транспортними процесами*: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 17–18 листопада 2020 р. / Секція «Проблеми та перспективи безпеки на транспорті». Харків, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2020. С. 239-241.
22. ГБНВ.2.3-218-007:2012 Екологічні вимоги до автомобільних доріг. *Галузеві будівельні норми України*: веб-сайт. URL: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/01/GBN_V.2.3-218-007-2012.pdf (дата звернення: 10.03.2023).
23. Степанчук О.В. Методи створення і ведення транспортно-екологічного моніторингу в великих і найбільших містах (на прикладі м. Києва) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к-та техн. наук : 05.23.20. Київ, 2004. 16с.
24. Говорущенко Н. Я., Туренко А. Н. Системотехніка транспорту. Харків, 1999. 468 с. Безпека дорожнього руху в Україні: навч. пос. / за ред. В.П. Петкова. Київ: КНТ, 2012. 488 с.
25. Семченко Н.О., Холодова О.О., Бугайова М.О. Екологічна оцінка варіантів організації дорожнього руху за витратами палива. *Theoretical and practical aspects of modern scientific research*: collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference, 30 квітня 2021. Seoul-Vinnytsia, Case Co., Ltd. & European Scientific Platform, 2021. Vol. 1. P. 220–223.
26. Говорущенко Н.Я. Системотехніка автомобільного транспорту (розрахункові методи досліджень) : монографія. Харків: ХНАДУ, 2011. 292 с.

27. Титаренко В.Є., Нестеренко В.О. Дослідження екологічного стану транспортних перехресть за викидами автомобільних двигунів у місті Житомирі. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер.: Технічні науки*. 2016. № 2. С. 267-273.
28. Шаповалов А.Л. Прогнозування забруднення атмосферного повітря в придорожньому просторі. *Вісник ХНАДУ*. 2002. Вип.19. С.82-84.
29. Latest Version of Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES). EPA : веб-сайт. URL: <https://www.epa.gov/moves/latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves> (дата звернення 17.04.2023).
30. COPERT. *Emisia* : веб-сайт. URL: <https://www.emisia.com/utilities/copert/> (дата звернення 17.04.2023).
31. Нова всесвітня методика розрахунку витрат палива WLTP. IC24.LV: веб-сайт. URL: http://www.car-use.lv/2020/IC_1903_WLTP_RU.htm
32. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories 2019. 21 pp. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
33. Таран І.А., Новицький О.В., Литвин В.В. Аналіз можливостей використання програмного забезпечення PTV VISION VISSIM для моделювання транспортних та пішохідних потоків. *Вісник ЧНУ ім. В. Даля*. 2015. №2 (219). С. 136-140.
34. HCM 2010. Highway Capacity Manual. – Washington, DC: Transportation Research Board of the National Academies, 2010. 1475 p.
35. Шилова Т.О. Інженерне облаштування міських вулиць та доріг: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2023. 108 с.
36. Кищун В.А. Організація і безпека дорожнього руху : конспект лекцій. Луцьк : Луцький НТУ, 2015. 200 с.
37. Goryaev N., Myachkov K., Larin O. Optimization of “green wave” mode to ensure priority of fixed-route public transport. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol.36. Pp. 231–236.

38. Makarova I., Shubenkova K., Mavrin V., Buyvol P. Improving safety on the crosswalks with the use of fuzzy logic. *Transport Problems*. 2018. Vol. 13(1). Pp. 97–109.
39. Системологія на транспорті : підручник : у 5 кн. / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін. – К.: Знання України, 2005.- Кн. IV: Організація дорожнього руху.-2007. – 451 с.
40. Поліщук В.П., Красильникова О.В., Дзюба О.П. Транспортне планування міст. Київ, 2014. - 371 с.
41. Inokuchi H., Kawakami S., Development of the fuzzy traffic assignment model // *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems*, Vol.10, №2 – С.348-355
42. Wen K., Yang W., and Qu S., A stochastic adaptive traffic signal control model based on fuzzy reinforcement learning, *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, ICCAE '10*), February 2010, 467–471, <https://doi.org/10.1109/iccae.2010.5451248>, 2-s2.0-77952629930.
43. Засядько Д. В. Розрахунок матриці транспортних кореспонденцій через значення інтенсивностей потоків на ділянках мережі // *Збірка наукових праць Національного гірничого університету №19 т.4 – Дніпропетровськ: НГУ, 2004. – С. 8-12.*
44. Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К., Лановий О. Т., Линник І. Е., Поліщук В. П. Дослідження операцій у транспортних системах. Київ, 2009. – 370 с.
45. Літнарівч Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник, МЕНУ, Рівне, 2011.-140 с.
46. Dragu, Vasile & Roman, Eugenia. (2019). The Origin–Destination Matrix Development. *MATEC Web of Conferences*. 290. 06010. 10.1051/matecconf/201929006010.
47. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.
48. Yin Zhang, Roughan M., Duffield N., Greenberg A. Fast Accurate Computation of LargeScale IP Traffic Matrices from Link Loads. *SIGMETRICS'03*, 2003, June 10–14, 12 p. Available: <http://www.research.att.com>

49. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. Пер. с. англ. М.: Транспорт, 1972 г.
50. A linear programming method for synthesizing origin-destination trip tables from traffic counts for inconsistent systems/ theses by Peng Lei, MIT, Blacksburg, Virginia, 1998
51. Xu, W. and Y. Chan “Estimating an Origin-Destination Matrix With Fussy Weights. Part II: Case Studies”, *Transportation planning and technology*”, #17 1993
52. Лобашов О. О. О прогнозуванні швидкості транспортних потоків на міських вулицях/ Вісник ХНАДУ №10 1999. – С. 117-121.
53. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / Вильсон А.Дж.; пер. с англ. – М.: Наука, 1978. – 248с.
54. Гук В.І. Транспортні потоки : теорія та їх застосування в урбаністиці: монографія / В.І. Гук, Ю.М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.
55. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / Сигорский В.П. – К.: Техніка, 1975. – 768 с.
56. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018> (дата звернення: 03.06.2024).
57. Кашканов А. А., Грисюк О. Г., Гуменюк І. І. Безпека дорожнього руху : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2017. 90 с.
58. Hess S. Analysis of the effects of speed limit enforcement cameras with differentiation by road type and catchment area [MPhil project]. London : Centre for Transport Studies, Imperial College. August 2003.
59. Григоров М. А., Дашченко О. Ф., Усов А. В. Проблеми моделювання і управління рухом транспортних потоків : монографія. Одеса : Астропринт, 2004. 272 с.
60. Kaszubiak, J. et al. Real-time vehicle and lane detection with embedded hardware. *IEEE Proceedings. Intelligent Vehicles Symposium*, 2005. P. 619-624. DOI: 10.1109/IVS.2005.1505172
61. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2017. 125 с.

62. Григоров М. А. Інформаційне забезпечення для оптимізації транспортних потоків : монографія. Одеса : Астропринт, 2004. 392 с.
63. Офіційний сайт Інституту юридичної інформації: <https://www.law.cornell.edu/uscode/text/23/134>.
64. Офіційний сайт Міжнародної програми оцінки доріг (iRAP): <https://irap.org/ru/2023/07/aaa-benchmarking-strategy-performance-advocacy-campaign-underway/>.
65. Закон України про дорожній рух.
66. ДСТУ 4092-2002 Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки. Технічний комітет стандартизації ТК 307 «Автомобільні дороги і транспортні споруди». 2002. 21 с.
67. ДСТУ 8752:2017 Безпека дорожнього руху. Проект організації дорожнього руху. Правила розроблення, побудови, оформлення. Вимоги до змісту. ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»). 2017. 29 с.
68. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівельних споруд. Основні положення, затверджені наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 30.11.2018 № 327.
69. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Зі Зміною №1. [Чинний від 2022-09-01]. Київ: ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), 2021. 61 с.
70. Дербунович Л.В. До питання оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста / Л.В. Дербунович, Л.С. Абрамова, В.В. Ширін, // Вісник НТУ ХПІ. – 2008. – № 56. – С. 72-78.
71. Rune Elvik, Anne Borger Mysen, Truls Vaa. Trafikksikkerhetshåndbok: oversikt over virkninger, kostnader og offentlige ansvarsforhold for 124 trafikksikkerhetstiltak. – Transportøkonomisk Institutt TØI., 1997. – 704 p.
72. Streetfight: Handbook for an Urban Revolution, by Janette Sadik-Khan & Seth Solomonow, Penguin Books, 2017, 368 pages.

73. Системологія на транспорті. Підручник у 5 кн. / Під заг. ред. Дмитриченка М. Ф. – Кн. I: Основи теорії систем і управління / [Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін]. – К.: Знання України, 2005. – 344 с.
74. HCM 2010. Highway Capacity Manual. – Washington, DC: Transportation Research Board of the National Academies, 2010. 1475 p.
75. Аудит безпеки дорожнього руху: підручник / Л.С. Абрамова, І.С. Наглюк, В.В. Ширін, С.В. Капінус, Г.Г. Птиця; під заг. ред. І.С. Наглюка. – Х.: ХНАДУ, 2016. – 260 с.
76. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / за заг. ред. В.П. Поліщука; О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. – К.: Знання України, 2011. – 467 с.
77. Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Washington, DC: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2022. <https://doi.org/10.17226/26432>.
78. Kittelson W. K. Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service //Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity. – USA, Kittelson and Associates. Inc. – 12 p. [http:// nationalacademies. Org/trb/publications/ec018/01_63.pdf](http://nationalacademies.Org/trb/publications/ec018/01_63.pdf).
79. Нагребельна Н.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст. Дис. на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)». 2021. 192 с.
80. Хомяк Я. В. Організація дорожнього руху. К.: Вища шк., 1986. 271 с.
81. Pathranarakul P., Rahimi M. Intersection traffic flow modeling: A comprehensive review. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2019. № 101, P. 1–23.
82. Офіційний сайт компанії PTV AG. URL: <http://www.ptv.de>.
83. Офіційний сайт компанії Quadstone Paramics. URL <http://www.paramics-online.com>.

84. Капінус С. В. Імітаційне моделювання параметрів дорожнього руху у критичних ситуаціях на транспортній мережі. Автомобіль і електроніка. 2017. № 11. С. 79–84.
85. PTV Vissim 10. User Manual [Електронний ресурс] User Guide Search Engine. Режим доступу: <http://surl.li/frqbf>.
86. Закон України від 08.09.2005 р. №2862-IV «Про автомобільні дороги». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2862-15>.
87. Кудина Л. И. Организационные вопросы, связанные с разработкой инвестиционных проектов на автомобильном транспорте / Кудина Л. И. // Системные методы руководства, технология и организация производства, ремонта и эксплуатации автомобилей. – К. : Изд-во УТУ : ТАУ, 1997. – Вып. 3. – С. 60-67.
88. Кудина Л. И. Аспекты экспертизы инвестиционных проектов, реализуемых на автомобильном транспорте / Кудина Л. И. // Системные методы руководства, технология и организация производства, ремонта и эксплуатации автомобилей. – К. : Изд-во УТУ : ТАУ, 1997. – Вып. 3. – С. 76-81.
89. Layard R. Macroeconomics FA Text for Russia / Layard R. – Washington : Wiley Cons, 1994. – 150 p.
90. Лановий, О. Т. Формування сучасних показників соціально-економічної оцінки ефективності інвестицій у розвиток транспортних систем / Лановий О. Т. // Коммунальное хозяйство городов. – К. : «Техніка». – 2004 р. – вип. 56. – С. 65-73.
91. Лановий О. Т. Системний аналіз функціонування мережі автомобільних доріг загального користування : Матеріали Міжнародної конференції [«Логістичні проблеми управління транспортним процесом»] (1 – 4 квітня 2009 р.). / Лановий О. Т., Поліщук В. П. – Донецьк : Вісник Донецького ін-ту автомобільного транспорту – 2009. – № 1. – С. 172-178.
92. Лановий, О. Т. Фіаско ринку послуг з безпечного та ефективного користування автомобільними дорогами як категорія соціально-економічного вибору/ Лановий

- О. Т. // Зб. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – К. : НТУ. – 2004. – №70. – С. 116-120.
93. Поліщук В. П. Оцінка і прогноз стану системи «Дорожні умови – транспортні потоки». У зб. : «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – Київ : Будівельник, вип. 18, 1976. – С. 20-28.
 94. С. Могила, В.Н. Галушко, П.Л. Чечет. Имитационная модель технологического процесса перевозки пассажиров городским транспортом. / Научно-технический Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Выпуск 3, май – июнь 2014 сборник №69. 281-287сс. Харьковская национальная академия городского хозяйства.
 95. Фахми Ш. С., Цыцулин А. К. ВIDEOSистемы на кристалле: новые архитектурные решения в задачах обработки видеoinформации. Датчики и системы, 2011 г, № 4 - С.58-62.
 96. Д. В. Капский // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. - 2011. - № 11.- 17-24 сс.
 97. Xiru Tang & Yanyan Chen. Analysis on Traffic Conflicts of Two-lane Highway Based on Improved Cellular Automation Model. Journal of Multimedia, VOL. 8, NO. 3, June 2013.
 98. David Eichler, Hillel Bar-Gera, Meir Blachman. Vortex-Based Zero-Conflict Design of Urban Road Networks. Networks and Spatial Economics. September 2013, Volume 13, Issue 3, pp 229-254.
 99. Road traffic injuries. World Health Organization. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
 100. Humberto Tijerina. Speeding is a Top Cause of Motor Vehicle Accidents, Injuries, and Fatalities. URL: <https://www.tlegalgroup.com/blog/speeding-is-a-factor-in-29-percent-of-fatal-car-accidents/>
 101. Speeding. National Highway Traffic Safety Administration. URL: <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/speeding>
 102. Speed and accident risk. European Commission. URL: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/eu-road-safety-policy/priorities/safe-road-use/safe-speed/archive/speed-and-accident-risk_en

103. Kloeden CN, McLean AJ, Moore VM, Ponte G. (1997). Travelling Speed and the Risk of Crash Involvement. NHMRC Road Accident Research Unit. The University of Adelaide.
104. Fieldwick, R. and Brown R.J. (1987). The effect of speed limits on road casualties. *Traffic Engineering and Control*, Vol. 28, pp. 635-640.
105. Garber N. J., Gadiraju, R., (1988). Speed Vari-ance and its Influence on Accidents. Foundation for Traffic Safety, Washington, DC.
106. Carthy, T., Chilton, S., Covey, J., Hopkins, L., Jones-Lee, m., Loomes, G., Pidgeon, N. and Spencer, A. (1998). On the contingent valuation of safety and the safety of contingent valuation: Part 2 - The CV/SG “chained” approach. *Journal of Risk and Uncertainty*, 17(3), 187-213.
107. Taylor, M.C., Lynam, D., & Baruya, A. (2000). THE EFFECTS OF DRIVERS' SPEED ON THE FREQUENCY OF ROAD ACCIDENTS. URL:
<https://trl.co.uk/uploads/trl/documents/TRL421.pdf>
108. Speeding is a Factor in 37.7 percent of Fatal Accidents in Washington. URL:
<https://www.boohofflaw.com/fatal-accidents-washington/>
109. The Connection Between Speeding and Fatal Accidents. URL:
<https://www.tokh.com/the-connection-between-speeding-and-fatal-accidents/>
110. Doecke, Sam & Kloeden, Craig & Dutschke, Jeffrey & Baldock, Matthew. (2018). Safe speed limits for a safe system: The relationship between speed limit and fatal crash rate for different crash types. *Traffic Injury Prevention*. 19. 10.1080/15389588.2017.1422601.
111. Hussain, Qinaat & Feng, Hanqin & Grzebieta, Raphael & Brijs, Tom & Olivier, Jake. (2019). The relationship between impact speed and the probability of pedestrian fatality during a vehicle-pedestrian crash: A systematic review and meta- analysis. *Accident; analysis and prevention*. 129. 241-249. 10.1016/j.aap.2019.05.033.
112. Richards D. C. Relationship between Speed and Risk of Fatal Injury: Pedestrians and Car Occupants. Road Safety Web Publication, No. 16. Transport Research Laboratory, 2010. URL:

https://nacto.org/docs/usdg/relationship_between_speed_risk_fatal_injury_pedestrians_and_car_occupants_richards.pdf

113. The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents. M.C. Taylor, D.A. Lynam and A. Baruya. URL: <https://trl.co.uk/reports/TRL421>
114. Рябушенко О. В., Данець С. В. Аналіз методів визначення швидкості транспортних засобів при розслідуванні ДТП. Матеріали XI Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту»: збірник наукових. Вінниця: ВНТУ, 2023. 366 с. ISBN 978-966-641-929-6
115. Jin J. et al. Development of a Dual-Sensor Fusion System for Vehicle Speed Measurement in Accident Reconstructed. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 3, pp. 1449- 1458, 2021 DOI: 10.1109/TITS.2020.3043820.
116. Batista M. C. et al. Analyzing the Reconstruction of a Traffic Accident Using Videogrammetry and 3D Scanning Techniques. Journal of Forensic Sciences, vol. 66, no. 2, pp. 759- 765, 2021. DOI: 10.1111/1556-4029.14698.
117. Піжук О.І. Штучний інтелект як один із ключових драйверів цифрової трансформації економіки. Економіка, управління та адміністрування. 2019. №. 3 (89). С. 41–46.
118. Чернишенко Я.А., Ніколюк П.К. Моделювання та засоби оптимізації дорожнього трафіку за допомогою штучного інтелекту. Прикладні аспекти сучасних міждисциплінарних досліджень. (Січ 2024), С. 194-196.
119. Мисливий В. А. Штучний інтелект як фактор запобігання дорожньо-транспортній злочинності Використання технологій штучного інтелекту у протидії злочинності : матеріали наук.-практ. онлайн-семінару (м. Харків, 5 листоп. 2020 р.). – Харків : Право, 2020. – С. 55–60.
120. Як впроваджують AI в транспортну систему в Україні й за кордоном. Режим доступу: <https://aiconference.com.ua/uk/news/kak-vnedryayut-ai-v-transportnuyu-sistemu-v-ukraine-i-za-rubegom-97951>.

121. Інтелектуальне керування дорожнім рухом. Режим доступу:
<https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/haluzi/sfery-zastosuvannya/intelektualne-keruvannya-dorozhnim-rukhom>.
122. Аналіз відео за допомогою штучного інтелекту MagicBox. Режим доступу:
<https://www.prassel.it/magicbox-ai>.
123. Візит до центру управління дорожнім рухом з України. Режим доступу:
<https://www.bursa.bel.tr/haber/trafik-yonetim-merkezine-ukraynadan-ziyaret-33256>.
124. Дорожнім рухом у Києві управлятиме штучний інтелект. Режим доступу:
<https://glavcom.ua/kyiv/news/dorozhnim-ruhom-u-kijevi-upravlyatime-shtuchniy-intelekt-712133.html>.
125. Статистика ДТП в Україні. Патрульна поліція: веб-сайт. URL:
<https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 23.02.2023).
126. Лобашов О.О., Прасоленко О.В. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. Харків, 2011. 221 с.
127. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / Бакуліч О.О. та ін.; за ред. В.П. Поліщука. Київ. 2014 467 с.
128. ДБН В.2.3-4:2015. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Київ, 2015. 104 с.
129. Іванов В. О. Розподілена система імітаційного моделювання дорожнього руху. Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. 2008. № 48. С. 41–45.
130. Traffic Calming Measures. A Community of Transportation Professionals: веб-сайт. URL: Traffic Calming Measures - Institute of Transportation Engineers (ite.org) (дата звернення: 20.04.2023)