

УДК 656.11

№ держ. реєстрації

Інв. № 0122V201007

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.

Ілля ДМИТРІЄВ

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

2023

СПИСОК АВТОРІВ

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



Іван Наглюк
(розділ 1, загальне
редагування)

Д-р техн. наук, професор



Олексій Степанов
(розділ 10)

Д-р техн. наук, професор



Людмила Абрамова
(розділ 5)

Канд. техн. наук, доцент



Анатолій Бажинов
(розділ 9)

Канд. техн. наук, доцент



Валерій Ширін
(розділ 6)

Канд. техн. наук, доцент



Олександр Рябушенко
(розділ 11)

Канд. техн. наук, доцент



Ольга Холодова
(розділ 2)

Канд. техн. наук, доцент



Олена Запорожцева
(розділ 4)

Канд. техн. наук, доцент



Сергій Капінус
(розділ 8)

Канд. техн. наук, доцент



Геннадій Птиця
(розділ 7)

Ст. викл.



Марина Бугайова
(розділ 13)

Ст. викл.



Олена Левченко
(розділ 12)

Асистент



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

Відділ акредитації, стандартизації
та якості навчання



Лада Чернова

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 148 с., 53 рисунки, 13 таблиць, 101 джерело.

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 заміських дорогах загального користування.

Розглянуто шляхи вирішення питання підвищення активної та пасивної безпеки на дорогах, досліджено зміни обсягів транспортного екологічного навантаження на прикладі м. Харків. Розглянуто питання доцільності визначення параметрів руху 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 велосипедної інфраструктури на ефективність функціонування перехресть.

Мета роботи — підвищення безпеки руху на підставі дослідження закономірностей дорожнього руху у містах, на заміських дорогах, залізничних переїздах.

Методи дослідження — математичне та імітаційне моделювання руху транспортних потоків, зокрема велосипедних 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 Використання ременя безпеки водіями легкових автомобілів під час воєнного стану в м. Харків	8
2 Дослідження впровадження одностороннього руху на вулично-дорожній мережі міста	16
3 Особливості розподілення транспортних кореспонденцій в великих та значних містах з радіально-кільцевим плануванням	26
4 Використання методу узагальнених змінних для кількісного аналізу транспортного потоку	34
5 Формування принципів проектування гібридної системи управління дорожнім рухом	42
6 Аналіз особливостей і перспектив розвитку велосипедної інфраструктури в містах України	57
6.1 Закордонний досвід розвитку велосипедної інфраструктури міст	58
6.2 Показники безпеки уразливої категорії учасників дорожнього руху	64
6.3 Стан нормативного забезпечення розвитку велосипедної інфраструктури міст	65
7 Аналіз впливу елементів інженерного облаштування блок-посту на ефективність дорожнього руху	69
7.1 Формалізація фортифікаційного інженерного об'єкту	69
7.2 Підвищення ефективності руху за рахунок упорядкування інженерного облаштування блокпосту	72
8 Аналіз впливу засобів примусового зниження швидкості на ефективність дорожнього руху	77

9 Аналіз функціонування транспортної системи «автомобільні дороги державного та місцевого значення – національні та міжнародні транспортні потоки»	
85	
10 Підвищення безпеки дорожнього руху шляхом удосконалення спеціалізованих технічних засобів підготовки водіїв	91
11 Методи фіксації швидкості транспортних засобів на вулицях та дорогах при проведенні наукових досліджень	101
11.1 Основні аспекти проблеми вимірювання фактичної швидкості транспортних засобів	101
11.2 Аналіз літературних джерел з проблеми дослідження	103
11.3 Розробка експериментальної методики вимірювання фактичної швидкості транспортних засобів за даними відеоспостереження	107
11.4 Результати апробації методики	109
12 Застосування автоматизованої системи керування дорожнім рухом у містах	116
13. Застосування імітаційного моделювання для запровадження заходів з організації дорожнього руху на перехресті	123
Висновки	134
Перелік посилань	140

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 ВИКОРИСТАННЯ РЕМЕНЯ БЕЗПЕКИ ВОДІЯМИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ В М. ХАРКІВ

Забезпечення безпеки дорожнього руху треба розглядати як серйозну соціально-економічну задачу яка залишається актуальною і в період воєнного стану. Для успішного рішення проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху потрібен комплексний підхід, спільні зусилля значної кількості міністерств, відомств, громадських організацій, заінтересованої участі усіх членів товариства.

За даними Національної поліції України, щороку відбувається понад 150 тисяч дорожньо-транспортних пригод, а саме у місті Харків понад 10 тисяч. Причини можуть бути різними: зіткнення, перекидання, наїзди, аварії не тільки з вини водіїв, а й пішоходів та інших учасників руху – наслідки кожної з дорожньо-транспортних пригод нерідко фатальні. Щороку на дорогах України гине не менше 3,5 тисяч людей та травмуються не менше 35 тисяч, з них не менше 100 людей гине та більше 1,5 тисячі людей травмуються в місті Харків. Тобто кожного дня на дорогах України гине понад 9 осіб [1].

За показниками аварійності та наслідками дорожньо-транспортних пригод, Україна є одним із лідерів серед європейських країн [2].

Сучасний автомобіль є джерелом підвищеної небезпеки. Постійне зростання випуску потужних та швидкісних автомобілів різних виробників, велика щільність руху автомобільних потоків значно збільшує імовірність аварійної ситуації. Безпека транспортного засобу включає комплекс конструктивних і експлуатаційних властивостей, що знижують ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод, тяжкість їх наслідків і негативний вплив на навколишнє середовище. Розрізняють активну, пасивну, після аварійну та екологічну безпеку транспортного засобу [3- 9].

Пасивна безпека автомобіля та дороги проявляється в тих випадках, коли у водія відсутня можливість запобігти ДТП через втрату автомобілем стійкості трапляється занос або перекидання, дестабілізація руху за рахунок переміщення

важкого вантажу в кузові або заносу причепа, недосвідченості водія, стомлення від довгої праці, фізичних вад, погіршення здоров'я в період керування автомобілем чи автобусом. Коли автомобіль чи автобус втрачає маневреність та керованість, що може бути наслідком недоліків конструкції агрегатів та систем, технічної несправності, незадовільного стану окремих агрегатів і систем автомобіля. Тоді водій стає пасивним учасником подій, і тяжкість наслідків ДТП залежить в основному від конструктивних особливостей автомобіля чи автобуса, швидкості їх руху, стану та параметрів автомобільної дороги, використання водієм і пасажиром ременів безпеки та засобів пасивної безпеки.

Використання засобів пасивної безпеки є найбільш дієвим засобом захисту водіїв і пасажирів під час дорожньо-транспортних пригод. Застебнуті ремені безпеки зменшують ризик контакту тіла з деталями автомобіля в разі зіткнення, утримують людину від викидання з автомобіля та небезпечних переміщень всередині салону автомобіля в разі перевертання, зменшують ймовірність завдання травм іншим пасажиром. Не пристебнута людина на задньому сидінні при лобовому зіткненні летить вперед і завдає важких травм тим, хто сидить попереду. Добре налаштовані ремені безпеки гарантують оптимальне спрацювання подушок безпеки. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, ефективність ременів безпеки для порятунку життів становить близько 50 % у дорожньо-транспортних пригодах, результатом яких у випадку невикористання ременів стала би смерть водія та пасажирів [10, 11].

Ремінь безпеки звичайного типу при аваріях і сильному ударі спасає. Іноді корпус водія вислизає при сильному ударі з під ременя та може статися травма. Для уникання цього SAAB запропонував систему безпеки яка складається з двох плечових ременів SSB (Saab Supplementary Belt). Цей ремінь безпеки із двох точковим кріпленням проходить через плече і охоплює груди водія або переднього пасажирів і закріплюється у верхній частині спинки сидіння.

Надійно закріплення ременів досягається за рахунок використовування натягувача. Натяг ременів безпеки регулюється, для утримування водія чи пасажирів

на сидінні при їзді по поганій дорозі. Ремінь безпеки має дві окремі петлі і він легко і швидко відстебнеться натиснувши клавішу замку.

Засоби пасивної безпеки та ремені безпеки зменшують ризик загибелі водія і пасажирів при аварії лобового чи бокового зіткнення до 2 разів, а при перекиданні до 5 разів. Згідно з Правилами дорожнього руху в Україні використання ременів безпеки є обов'язковим для водія і всіх пасажирів що перебувають на передньому та задньому сидінні. Дозволяється не пристібатися в населених пунктах водіям і пасажиром з інвалідністю, фізіологічні особливості яких унеможливають користування ременями безпеки, водіям і пасажиром оперативних та спеціальних транспортних засобів; (пункт змінено 11.11.2020) [10].

Розглянемо дані обстежень по території України за період 2018 – 2020 рік. Дані приведені на рисунках 1.1 – 1.3 [12].

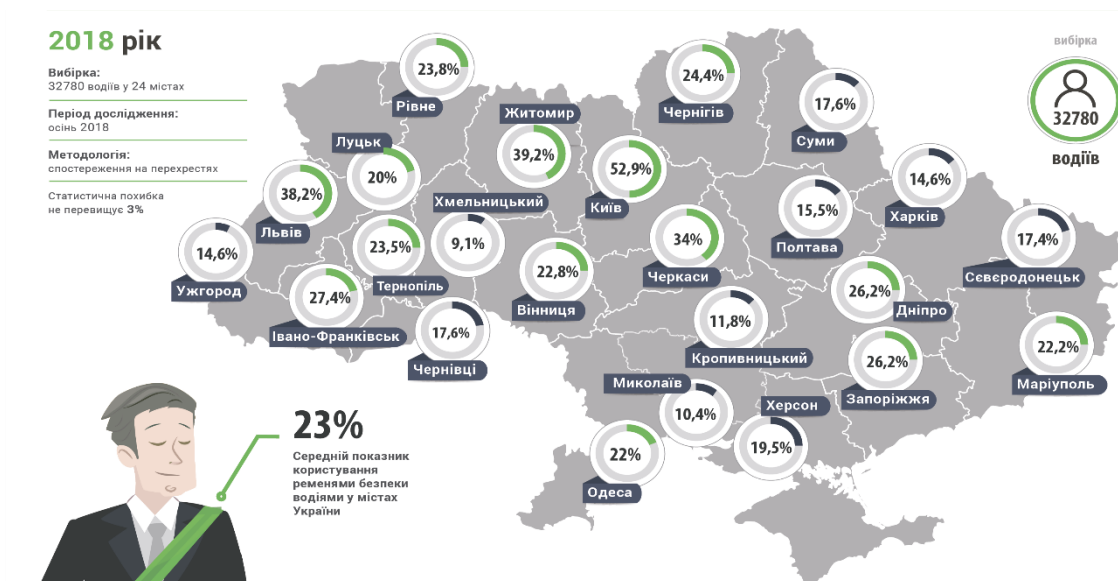
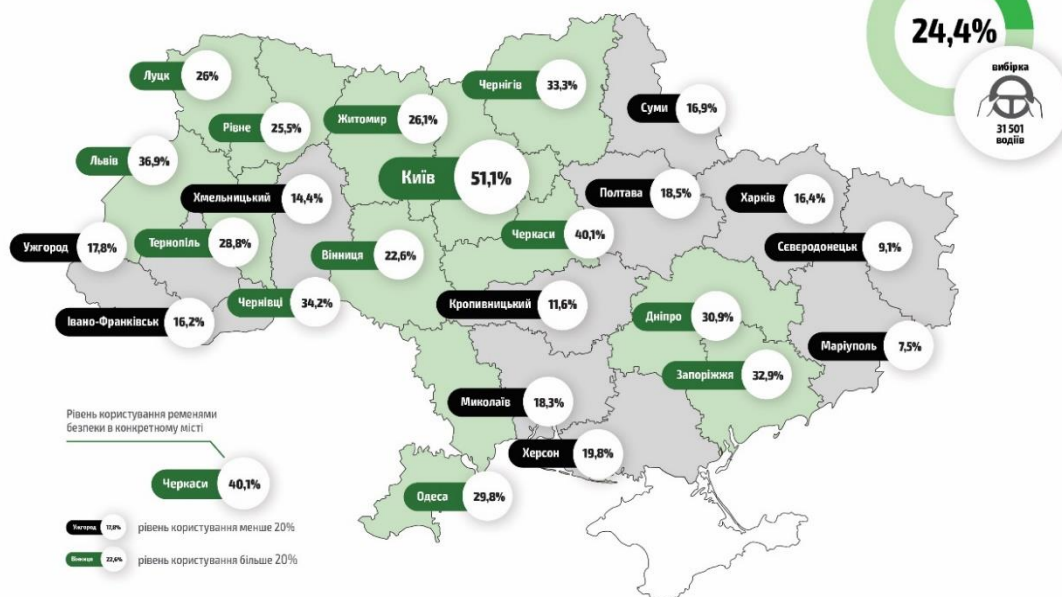


Рисунок 1.1 – Результати обстежень використання ременів безпеки у 2018 році

Рівень користування ременями безпеки у містах України, 2019 рік

Середній показник користування ременями безпеки водіями у містах України:

Період дослідження: осінь 2019.
Методологія: спостереження на перехрестях.
Статистична похибка не перевищує 3%.



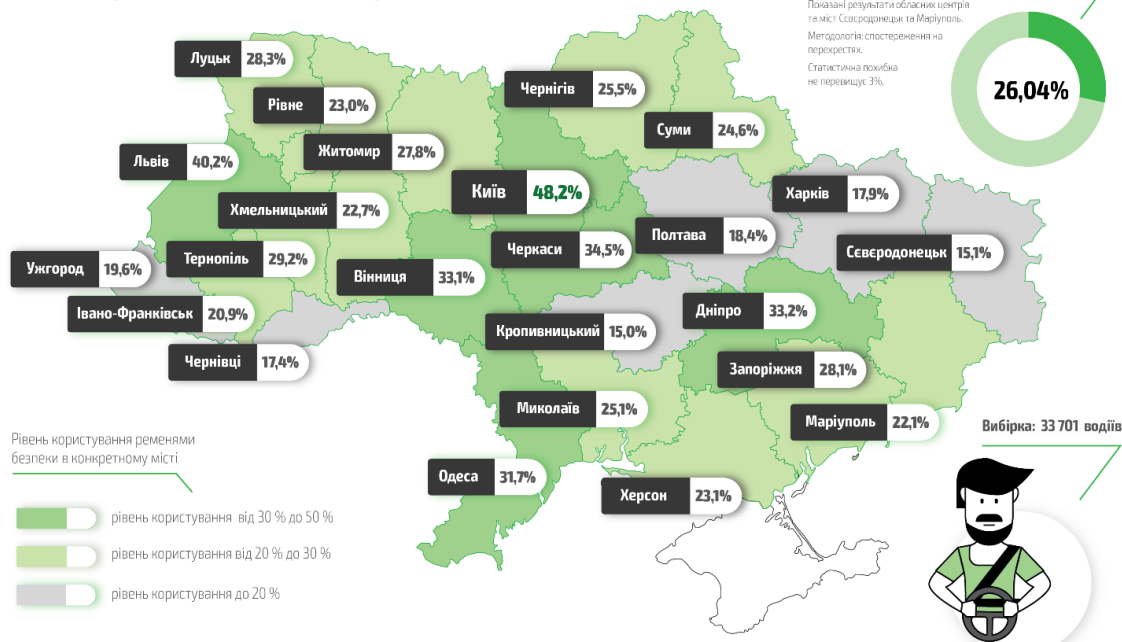
Дослідження "Рівень користування ременями безпеки серед водіїв в містах України" у 2019 році проводила ГО "Візіо Зеро" (Vision Zero) у співпраці з Центром демократії та верховенства права в рамках Кампанії "За безпеку дороги" завіданні фінансової підтримки Швеції.

Рисунок 1.2 – Результати обстежень використання ременів безпеки у 2019 році

Рівень користування ременями безпеки серед водіїв у містах України у 2020 році

Середній показник користування ременями безпеки водіями по Україні:

Період дослідження: осінь 2020.
Показані результати обласних центрів та міст Севастополя та Маріуполя.
Методологія: спостереження на перехрестях.
Статистична похибка не перевищує 3%.



Дослідження "Рівень користування ременями безпеки серед водіїв у містах України у 2020 році" проводила ГО "Візіо Зеро" (Vision Zero) у співпраці з Центром демократії та верховенства права в рамках Кампанії "За безпеку дороги" завіданні фінансової підтримки Швеції.

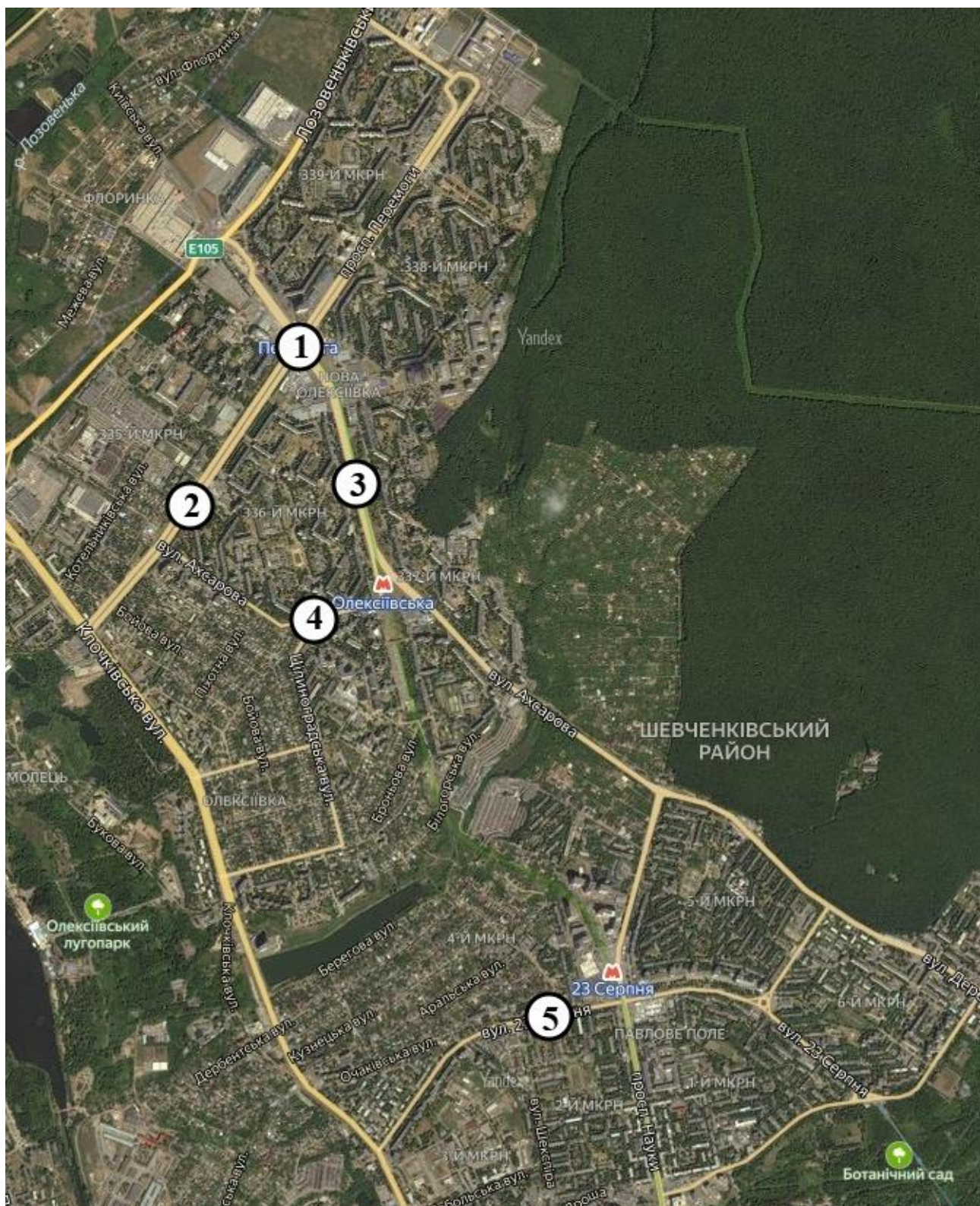
Рисунок 1.3 – Результати обстежень використання ременів безпеки у 2020 році

За результатами обстеження кампанії «За безпечні дороги») [12] кількість водіїв які дійсно користуються ременями безпеки коливається від 23 % до 26 %. Великобританія, де до прийняття закону в 1983 році про відповідальність за ігнорування ремня на передньому сидінні та початку інформаційної кампанії щодо цього, рівень користування ременями був приблизно такий же, як і в Україні сьогодні – 25 %. Зате після введення штрафу – 90 %. У 1991 р. користування ременем стало обов'язковим для водія та пасажирів, і рівень свідомості громадян зріс до 40 %.

Під час обстеження мною використовувався візуальний метод, обираючи максимально зручні для спостереження місця, щоб мінімізувати ймовірність помилок або неможливість виявити наявність чи відсутність ремня безпеки на плечі водія. До обстеження було включено водіїв легкових, вантажних автомобілів, мікроавтобусів та не включено водіїв маршрутного міського, приміського та міжміського громадського транспорту

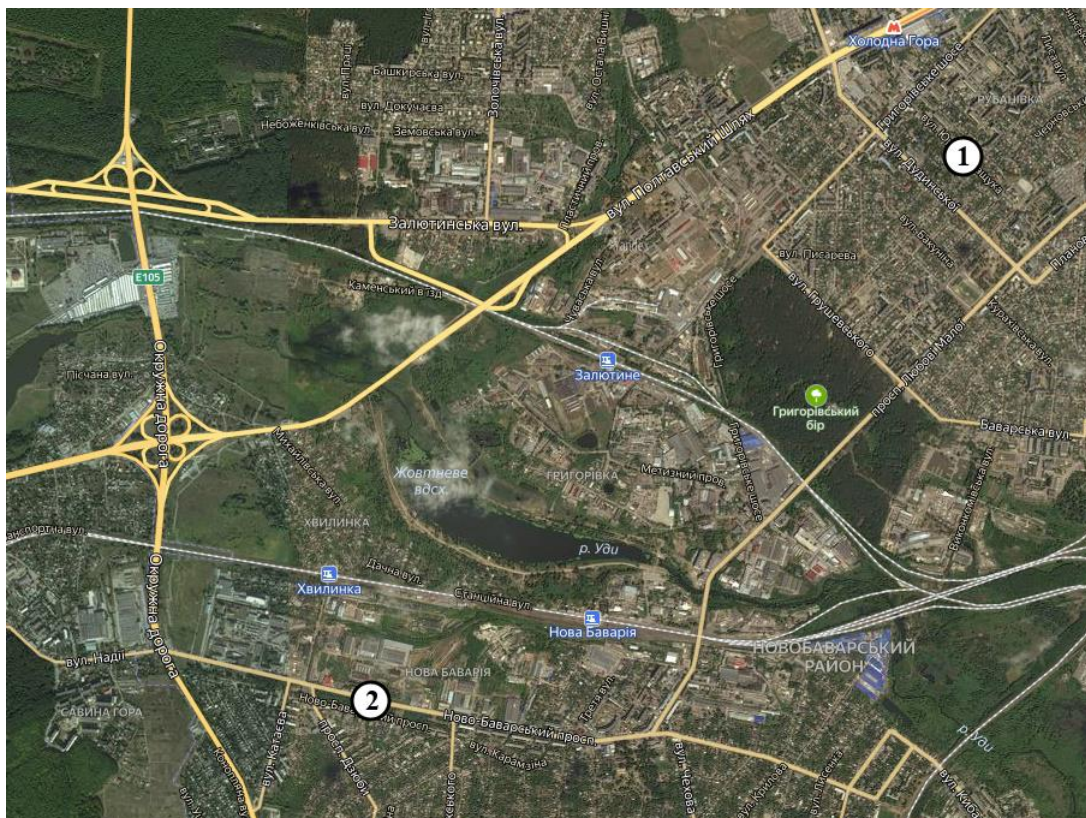
В період з 2015 по 2022 рік, обстеження проводились на різних локаціях, розташованих в різних частинах міста Харкова. По вулиці Сумській на перетині з вулицями: Динамівська, Весніна, Олеся Гончара, Свободи. По вулиці Пушкінська на перетині з вулицями: Студентська, Гуданова, Свободи. По вулиці Ярослава Мудрого на перетині з вулицями: Чернишевська, Алчевських, Пушкінська. По вулиці Гвардійців-Широнінців на перетині з вулицями: проспект Ювілейний та Салтівське шосе. По вулиці проспект Юрія Гагаріна на перетині з вулицями: Одеська, Мереф'янське шосе. Також по вулицям: Героїв праці, Самсонівська, Академіка Проскури, Шевченка, проспект Людвіга Свободи, 23 Серпня, Юрія Парашука. Та на перетині вулиць: Динамівська – Трінклера, Олеся Гончара – Мироносицька, Академіка Павлова – Московський проспект, Северина Потоцького – Олександрівський проспект.

Місцезнаходження деяких локацій обстеження у м. Харків, представлено на рис. 1.4-1.6.



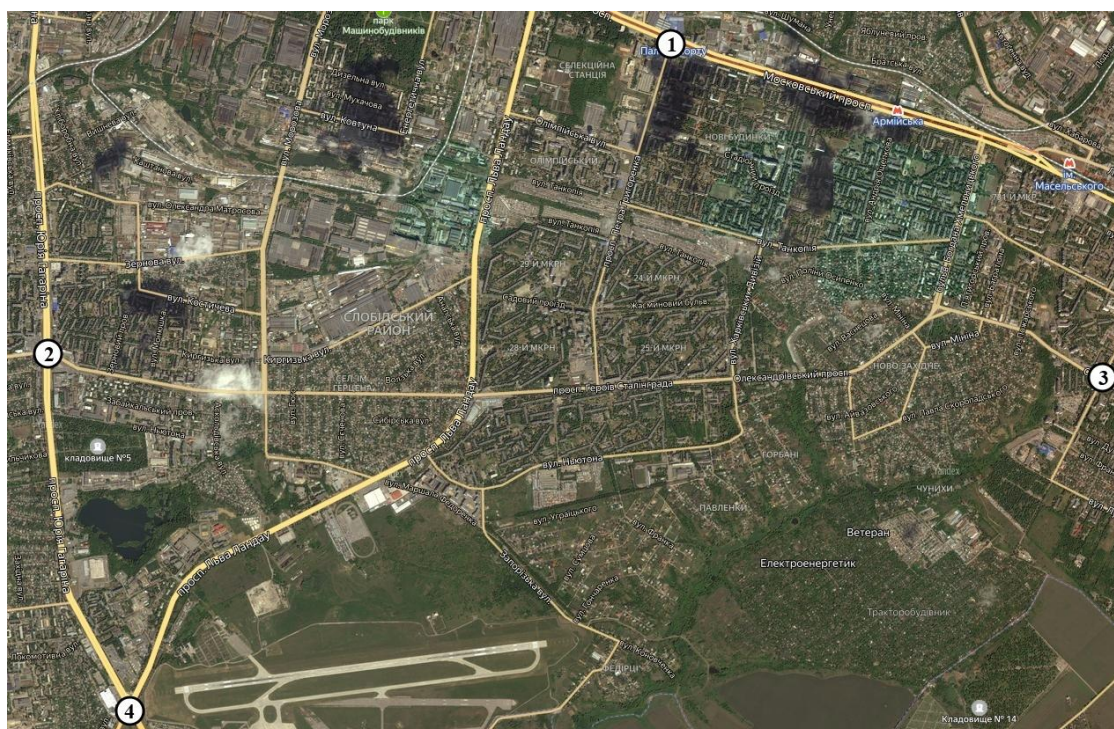
- 1 – перетин проспект Людвіга Свободи – проспект Перемоги; 2 – проспект Перемоги;
 3 – проспект Людвіга Свободи; 4 – перетин вул. Ахсарова - вул. Цілиноградська;
 5 – вулиця 23 Серпня

Рисунок 1.4 – Місцезнаходження локацій обстеження в 1-ій частині міста Харків



1 – вулиця Юрія Паращука; 2 – Ново-Баварський проспект

Рисунок 1.5– Місцезнаходження локації обстеження в 2-й частині м. Харків



Перетин вулиць: 1 – проспект Петра Григоренко; 2 – проспект Юрія Гагаріна - Одеська;
3 – Северина Потоцького - Олександрівський проспект; 4 – проспект Юрія Гагаріна -
Мереф'янське шосе

Рисунок 1.6 – Місцезнаходження локації обстеження в 3-й частині міста Харків

Результати проведеного обстеження по рокам представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати обстеження

Рік обстеження	Водії, що використовують ремені безпеки		Водії, що ігнорують ремені безпеки		Вибірка водіїв
	кількість	частка, %	кількість	частка, %	
2015	213	25	641	75	854
2016	43	31	97	69	140
2017	216	30	504	70	720
2018	165	41	235	59	400
2019	225	36	395	64	620
2020	120	46	140	54	260
2021	462	55	378	45	840
2022	18	15	102	85	120
Середнє	182,8	34,9	311,5	65,1	494,3

Аналіз результатів обстеження показує, що в період з 2015 по 2021 рік відсоток ігнорування ременя безпеки, водіями транспортних засобів зменшувався з 75 % до 45 %. В період воєнного стану відсоток ігнорування ременя безпеки знову збільшився і складав у 2022 році в м. Харкові 85 %.

Звідси випливає, що врегулювання питання з підвищенням самосвідомості громадян в Україні має обов'язково відбуватися і в період воєнного стану на двох рівнях: законодавчому та просвітницько-соціальному.

Для цього повинні проводитися певні кампанії та програми виборчого контролю за застосуванням ременів безпеки, які призведуть до покращення використання ременів безпеки та проявляться в підвищенні рівня їх використання.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ОДНОСТОРОННЬОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

Організація одностороннього руху (ОР) є відомим рішенням у містобудівній практиці при будівництві автомобільних магістралей. Багаторазово підтверджений у різних країнах досвід, не виключаючи України, показує, що введення ОР забезпечує підвищення швидкості руху транспортних потоків (ТП), збільшення пропускної спроможності (ПС) вулиць, що має безпосередній та ефективний вплив на ліквідацію заторів та зменшення завантаженості вулиць рухом. Взагалі, ОР має застосовуватись на вузьких вулицях, однак, є багато прикладів введення і на відносно широких дорогах з метою підвищення ПС. Зазвичай ОР вводять на магістральних вулицях, щоб знизити ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод та скоротити кількість світлофорів [13].

Як правило, введення ОР надає наступні позитивні результати: ліквідуються затори на перехрестях; скорочуються випадки зустрічних (лобових) та бічних зіткнень транспортних засобів (ТЗ); скорочується кількість конфліктних точок, що особливо відчутно на перетинаннях; з'являється можливість дозволити тимчасову стоянку ТЗ хоча б на одній з крайніх смуг через збільшення їх кількості, працюючих в одному напрямку; знижуються ризики, пов'язані з паркуванням або зупинкою ТЗ; підвищується безпека руху в темний час внаслідок ліквідації засліплення водіїв світлом фар зустрічних ТЗ; полегшуються умови переходу пішоходами проїзної частини внаслідок чіткого координованого регулювання та спрощення їх орієнтування, через відсутність зустрічних ТП; починають більш раціонально використовуватись смуги руху проїзної частини, в першу чергу вузькі, та здійснюється принцип вирівнювання складу ТП на кожній з них; підвищується ефективність роботи світлофорних об'єктів внаслідок спрощення руху на перехрестях та різко поліпшуються умови координації світлофорного регулювання між ними; покращується рух транспорту в щільно забудованих районах, де розширення дороги може бути неможливим [14].

Перешкодами для впровадження ОР є значне ускладнення при користуванні маршрутним пасажирським транспортом (МПТ) через збільшення дальності пішохідних підходів, а також збільшення пробігу ТЗ до об'єктів тяжіння через взаємну віддаленість паралельних шляхів. Для збереження достатньої зручності під'їзду до об'єктів ОР можна вводити, якщо на відстані до 350 м паралельно проходить вулиця, якою можна організувати рух у протилежному напрямку, і сполучні поперечні проїзди знаходяться на відстані не більше 200 м. Тобто все залежить від геометричної схеми розташування вулиць. Ідеальний варіант - наявність прямокутної сітки вулиць. Неприятливою є радіально-кільцева структура, за якої відстані між сусідніми радіальними магістралями за мірою віддалення від центру різко збільшуються. Тому в інтересах пасажирів МПТ при переході на ОР на мережі вулиць із радіально-кільцевою схемою в ряді випадків зберегти зустрічний рух тролейбусів і автобусів, здійснюючи таким чином неповний (частковий) ОР. Але переваги ОР настільки значні, що в практиці оперативної організації дорожнього руху (ОДР) доводиться вдаватися до нього в деяких випадках хоча б тимчасово за будь-якої схеми ВДМ (наприклад, під час масових спортивних змагань, демонстрацій, при ремонті доріг). На деяких міських магістралях ТП в різні години доби набувають певного напрямку руху (наприклад, масовий рух ТЗ в центр міст вранці), тому для пропуску явно переважаючих ТП виявляється доцільною організація реверсивного ОР [14].

Прояви інших недоліків ОР (труднощі з орієнтуванням водіїв і пішоходів у перший період після введення такої схеми руху, підвищення швидкості ТП, що є небезпечним для вулиць із житловою забудовою) усуваються шляхом належного нагляду за рухом і достатнього інформування учасників дорожнього руху в період їх адаптації до нових умов [14].

Виходячи з вище зазначеного, вулиці переводять в односторонній режим заради кількох безперечних плюсів: зменшення конфліктних точок вдвічі, спрощення ОДР, наприклад, прості примикання провулків можна зробити безсвітлофорними, теоретичне підвищення безпеки для пішоходів, оскільки їм потрібно стежити лише за одним напрямком. Загальним результатом стає

збільшення ПС та швидкості руху. Однак, щоб уникнути негативних наслідків (перепробіги, підвищення завантаження на сусідніх вулицях) запровадження ОР, необхідно паралельну дорогу також переводити в односторонній режим, але для руху вже у зворотний бік.

Наочним прикладом реалізації такого методу ОДР може бути введення ОР в Індустріальному районі м. Харків, а саме по вул. Біблика та вул. Миру, де виконуються усі умови його введення: ВДМ з паралельним розташуванням доріг, відстань між вулицями з ОР до 350 м, а самі вулиці занадто вузькі для руху в обох напрямках взагалі та через паркування автомобілів, висока інтенсивність пішохідного руху, відстань між спареними дорогами не перевищує 200 м, є можливість в кінцевих пунктах цих вулиць забезпечити безпечний перехід від ОР до двостороннього руху; вулиці добре вписуються в транспортну схему району міста; зберігається безперешкодний рух МПТ (див. рис. 2.1).

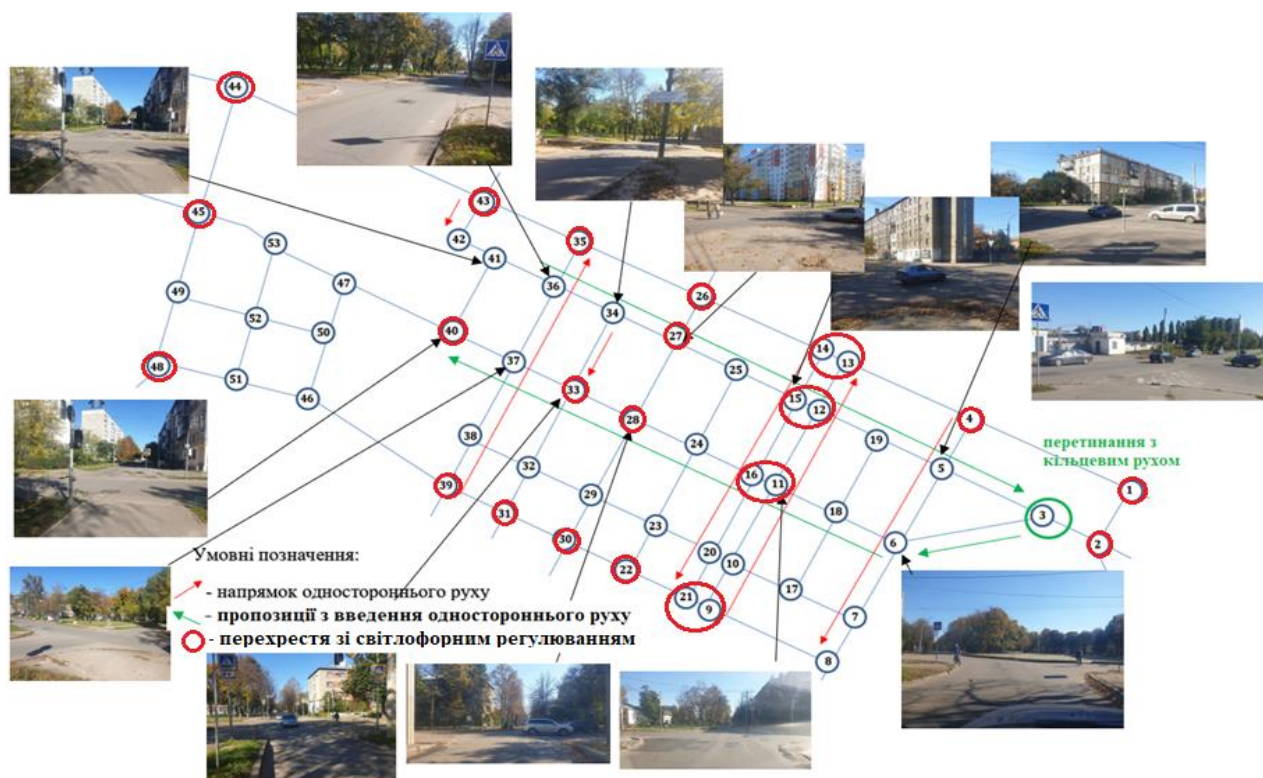


Рисунок 2.1 – Фрагмент графу ВДМ Індустріального району м. Харків

Нами запропоновано дослідити три варіанти ОДР на досліджуваній ділянці ВДМ: 1 варіант – існуючий; 2 варіант – введення ОР по вул. Біблика в бік центра

міста та по вул. Миру в бік Роганського жилмасиву (кільцевий рух на перехресті вул. Бібліка – вул. Миру); 3 варіант – введення ОР по вул. Миру в бік центра міста та по вул. Бібліка в бік Роганського жилмасиву (кільцевий рух на перехресті вул. Бібліка – вул. Миру).

Для вибору оптимальної схеми організації ОР постала необхідність для спрощення розрахунків використати програмне забезпечення *PTV Vision® Visum* [3]. На попередньому етапі нами зібрані усі дані (транспортна пропозиція), які необхідні для моделювання за допомогою програмного забезпечення *PTV Vision® Visum*, а саме інфраструктура систем транспорту, що включені до транспортної моделі. Після завантаження карти міста, а саме досліджуємої ділянки з позначенням вузлів, перегонів (див. рис. 2.2), розбиваємо її на "Транспортні райони" (zones) з урахуванням принципів транспортного мікрорайонування [4], які є початковими та кінцевими пунктами транспортного руху. Оскільки в дослідженні використовувалась студентська версія *PTV Visum 2023 (Student)*, то однією з вимог є наявність не більше 30 транспортних районів. Тому схема ВДМ при моделюванні на рисунку 2.2 має дещо спрощений вигляд. У транспортній моделі кожен транспортний район зведений до центру тяжіння, який через примикання пов'язаний із ВДМ. Межі транспортних районів показують просторове положення транспортного району, проте вплив на розподіл транспорту надає лише положення його центра (див. рис. 2.3).

Далі була побудована модель транспортного попиту, де визначаються джерела та цілі транспортного руху, вводяться параметри транспортної рухливості населення, формуються матриці кореспонденцій за видами транспорту та цілями здійснення транспортних кореспонденцій. Ємності транспортних вузлів визначаються шляхом натурних спостережень для 30 перехресть, які є центрами транспортних районів.

На основі отриманих даних за методикою в [15] нами отримана матриця транспортних кореспонденцій, яка заноситься в програмне забезпечення *PTV Visum* (див. рис. 2.4). Далі задається порядок розрахунку витрат часу на проїзд

транспортної мережі з урахуванням ПС ділянок, швидкості руху, режимів роботи технічних засобів регулювання та матриці кореспонденцій (див. рис. 2.5).

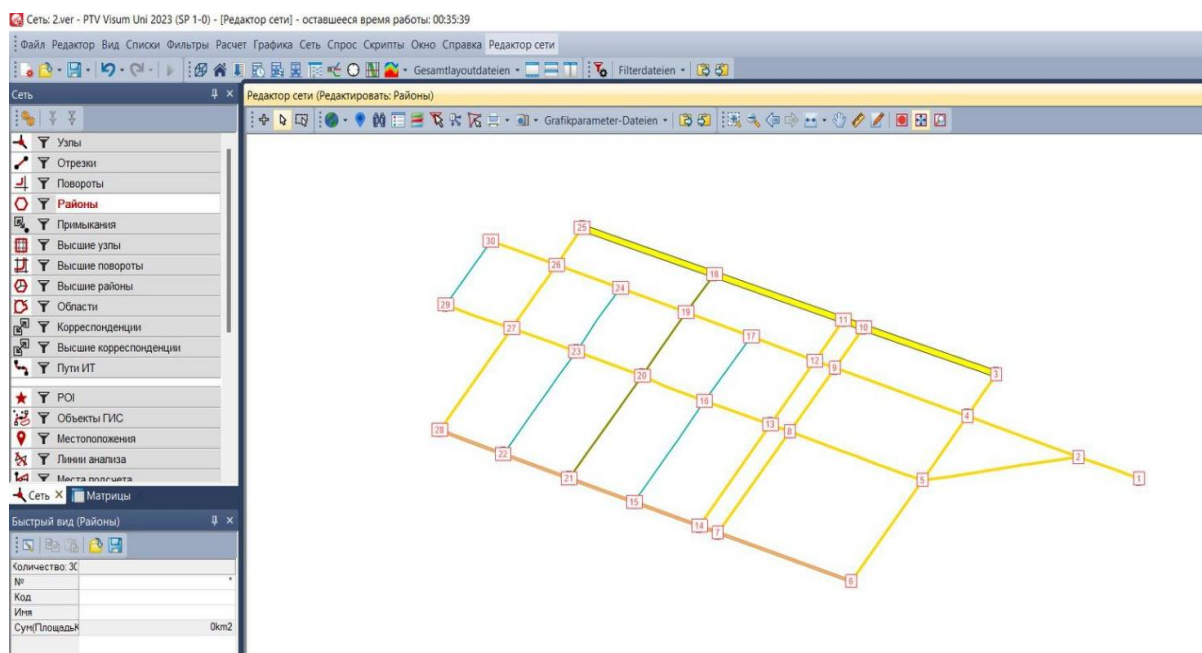


Рисунок 2.2 – Схема ВДМ в програмному забезпеченні PTV Visum

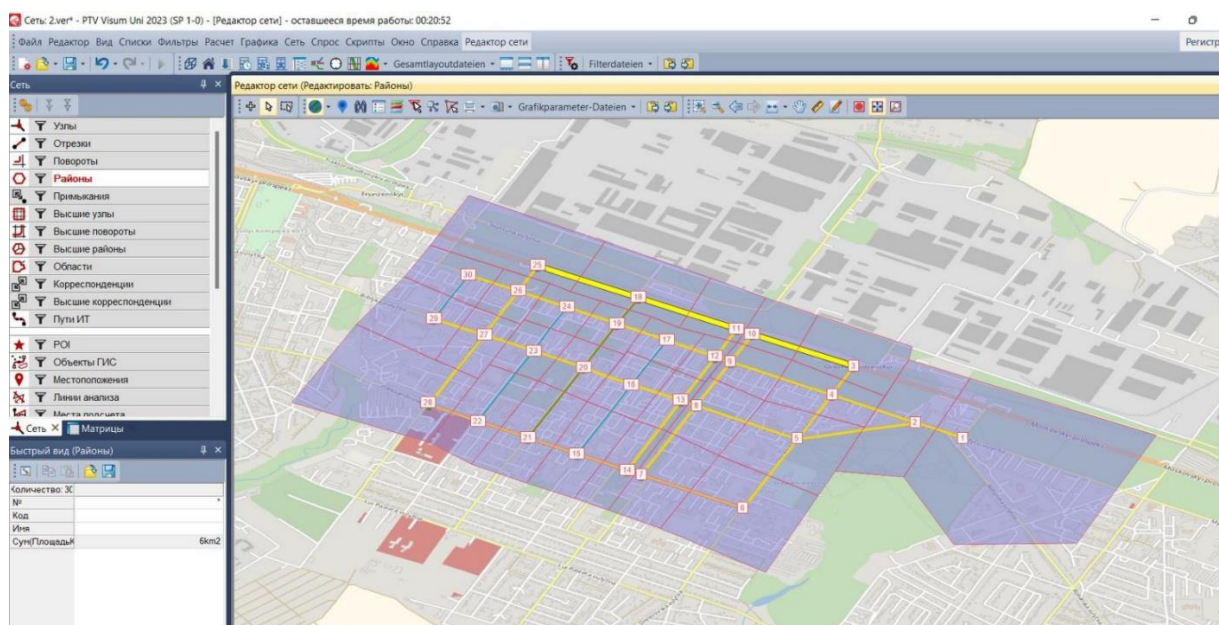


Рисунок 2.3 – Фрагмент розділення схеми ВДМ на транспортні райони

В результаті моделювання транспортної мережі нами отримані результуючі матриці за критерієм час руху (“час проїзду в навантаженій мережі”), які наведені на

рисунках 2.6 - 2.8. Слід звернути увагу, що зміна параметрів транспортної моделі відбувалась на основі зміни ПС ділянок мережі, напрямків руху та зміни режимів

Рисунок 2.4 – Вигляд матриці транспортних кореспонденцій в програмному забезпеченні *PTV Visum*

Рисунок 2.4 – Вигляд матриці транспортних кореспонденцій в програмному забезпеченні *PTV Visum*

Рисунок 2.5 – Процедура порядку розрахунку в програмному забезпеченні *PTV Vision® VISUM* роботи світлофорних об'єктів (див. рис. 2.9, 2.10).

Рисунок 2.5 – Процедура порядку розрахунку в програмному забезпеченні *PTV Vision® VISUM* роботи світлофорних об'єктів (див. рис. 2.9, 2.10).

Тож, за оціночний критерій було обрано час реалізації транспортних кореспонденцій – основний показник якості функціонування транспортної системи.

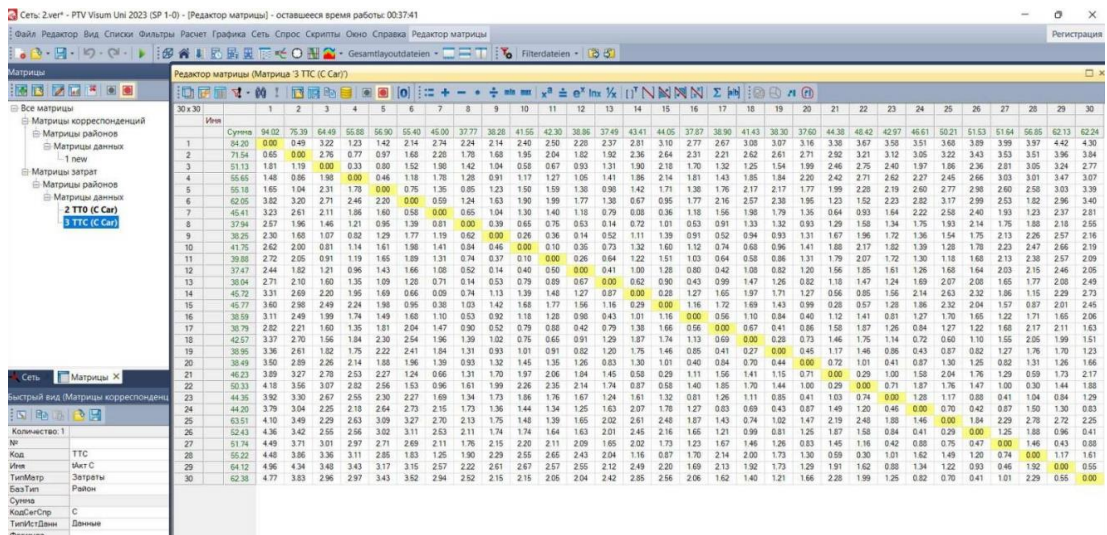


Рисунок 2.6 – Результати моделювання для існуючого варіанту схеми ОДР

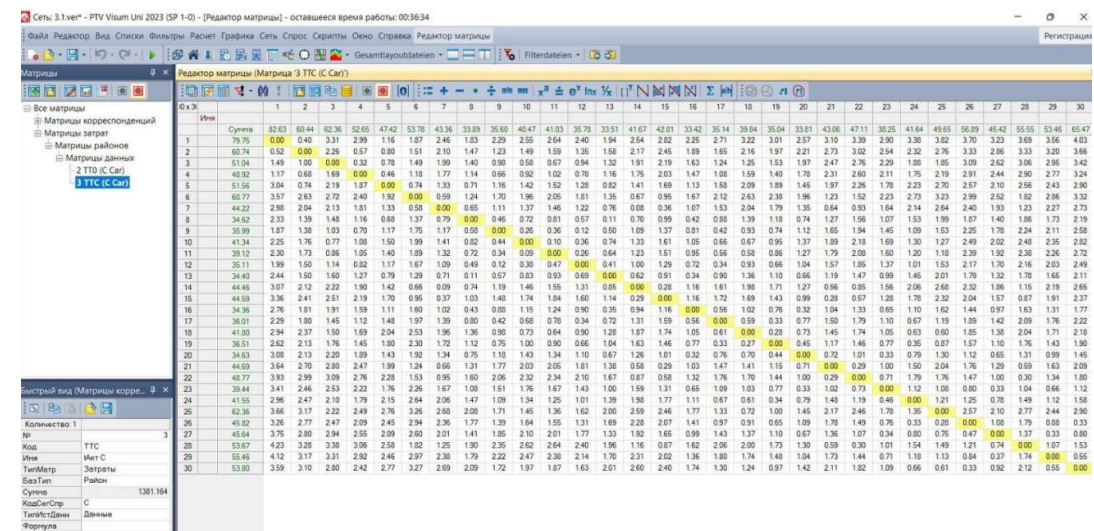


Рисунок 2.7 – Результати моделювання для варіанту 2 схеми ОДР

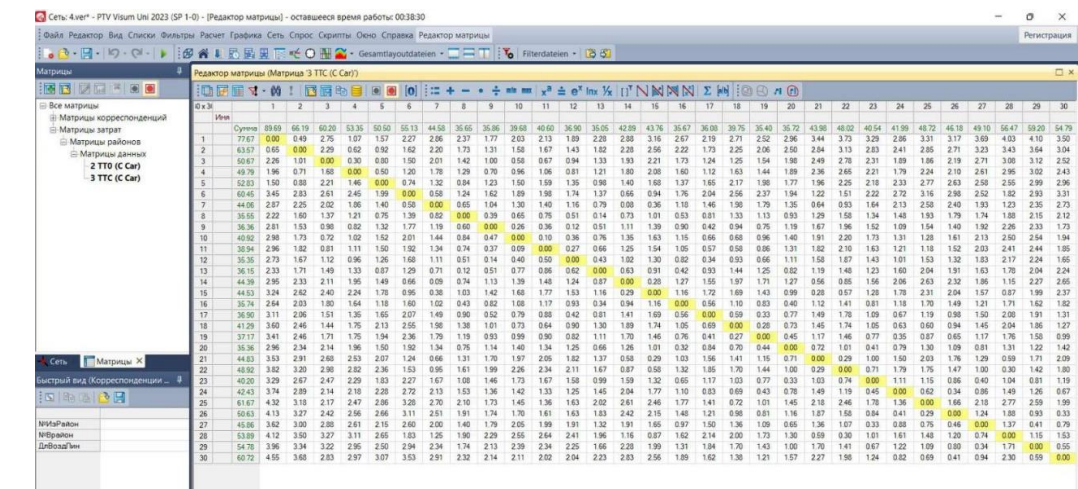
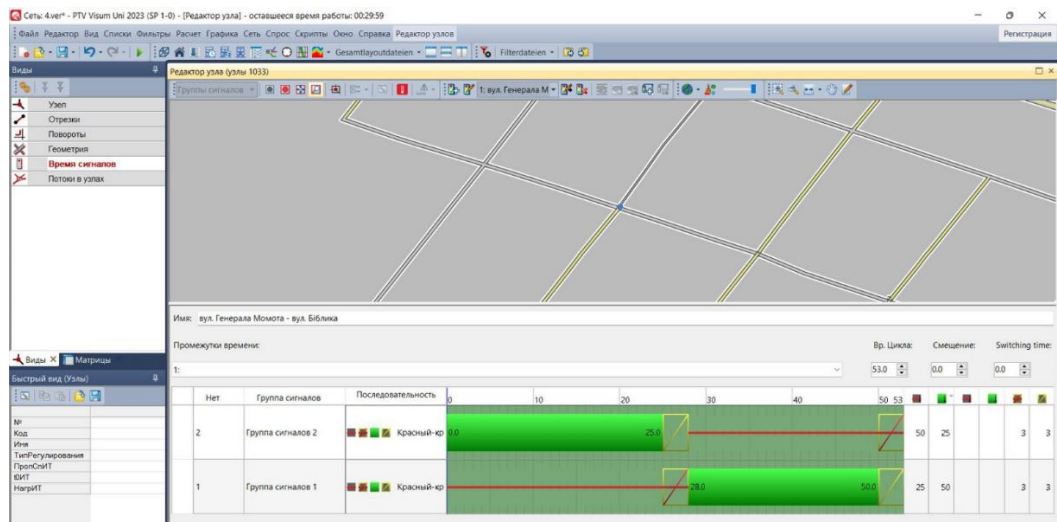


Рисунок 2.8 – Результати моделювання для варіанту 2 схеми ОДР

було



стало

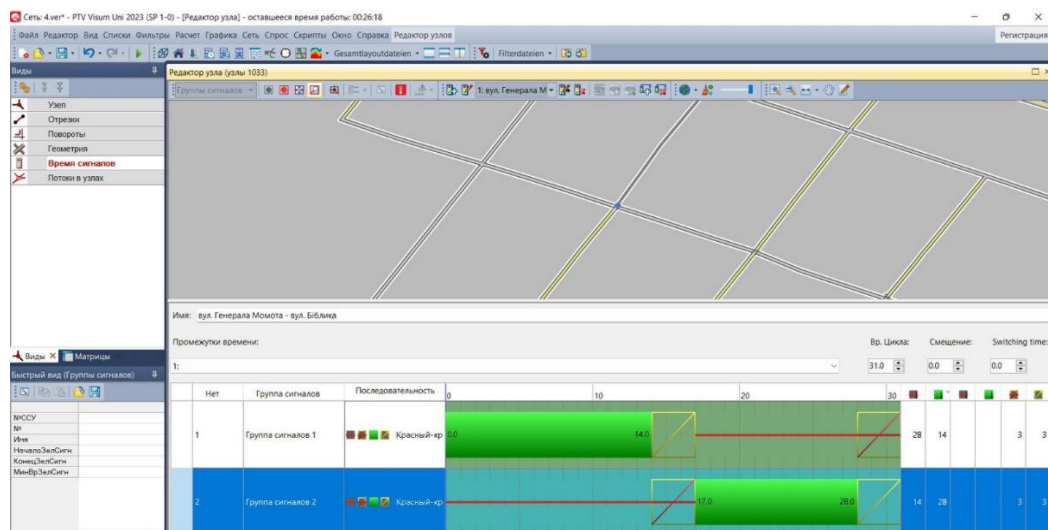


Рисунок 2.10 – Фрагмент зміни режиму роботи світлофорних об’єктів на перехресті на перехресті вул. Біблика – вул. Генерала Момота

Результати моделюванні наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати моделювання

Варіант схеми ОДР	Сумарний час реалізації транспортних кореспонденцій по мережі, хв.
1	1481,9
2	1381,2

3	1401,6
---	--------

Наступним кроком дослідження була оцінка рівня небезпеки перехрестя для усіх варіантів ОДР на ділянці ВДМ. В результаті встановлено, що на прямих нерегульованих перехрестях коефіцієнт відносної небезпеки перехрестя зменшується в 1,2 рази, на прямих регульованих перехрестях – в 1,5 рази, на Т-подібних як нерегульованих, так і регульованих – в 1,1 рази, а при зміні з нерегульованого на саморегульоване перехрестя - в 2,5 рази. Слід зауважити, що методика розрахунку коефіцієнта відносної небезпеки для нерегульованих перехресть не враховує конфлікт ТП з пішохідними, через що встановити точні дані з поліпшення ситуації не можливо. Але з впевненістю можна зазначити, що в середньому коефіцієнт відносної небезпеки на досліджуваній ділянці зменшується не менш ніж в 1,4 рази з врахуванням ймовірного перерозподілу руху ТЗ по ній.

Таким чином, введення ОР по вул. Миру та вул. Біблика є доцільним в порівнянні з існуючою ОДР. При цьому саме застосування варіанту 2 схеми ОДР дозволяє отримати соціальний ефект, якій полягає в зменшенні кількості конфліктних точок в 2,5 рази, коефіцієнта відносної небезпеки приблизно в 1,4 рази та скороченні сумарного часу реалізації транспортних кореспонденцій при проїзді по досліджуваній мережі на 100,7 хв. (7 %).

3 ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ В ВЕЛИКИХ ТА ЗНАЧНИХ МІСТАХ З РАДІАЛЬНО-КІЛЬЦЕВИМ ПЛАНУВАННЯМ

Згідно з дослідженнями, великі міста, такі як Харків, стикаються зі значною навантаженістю на дорогах [18]. Значні затори, довгі дорожні пробки, проблеми з паркуванням, високі витрати на транспорт - усе це викликає серйозні труднощі у гладкому функціонуванні системи міського транспорту [18]. Недостатня координація між центральною владою та місцевими органами управління ускладнює планування ефективної роботи громадського транспорту в мегаполісах, таких як Київ [19]. Незважаючи на те, що раніше відкриття спільного користування транспортом мало вирішити ці проблеми, насправді ситуація зі зростанням населення в містах стає все складнішою [20]. Для забезпечення стійкості та сталого розвитку міської мобільності потрібні нові рішення та інновації в управлінні транспортними системами [18, 21].

Згідно з дослідженнями вчених [18], відсутність надійного громадського транспорту змушує людей купувати двоколісні і чотириколісні транспортні засоби, що призводить до збільшення трафіку та пробок у центральних районах міст. Радіальне планування міст, як у Бенгалуру, також може призводити до проблем з транспортом, оскільки зміцнення землекористування тисне на інфраструктуру транспорту та надає містам геометричний характер [19]. Нові рішення та інновації в управлінні транспортом є необхідними для сталої міської мобільності, особливо в містах зі зростаючим населенням, як Київ [18]. Веб-результат [20] також пропонує нові гнучкі транзитні системи, які розроблені для міст з низькою густотою попиту на проїзд, які можуть бути корисними для оптимізації транспортної інфраструктури в радіально спланованих містах.

Для великих та значних міст з історично склавшимися радіальними транспортними планувальними схемами притаманна проблема збільшення інтенсивності транспортних потоків в центральній (історичний центр або діловий

центр) частині міста [18]. По-перше, через розташування значної кількості точок транспортного тяжіння, по-друге, через недостатню кількість місць для паркування та труднощі з виокремленням ділянок землі під місця для стоянки та паркінги та, по-третє, через наявність у центральній частині таких міст транзитних відносно центру транспортних потоків, які проходять з одного периферійного району міста в інший. Зменшити кількість транспортних засобів у центральній частині великого міста можна за допомогою відведення (перенаправлення) з неї цих транзитних потоків у обхід центру по кільцевим дорогам чи естакадам за межами центру. Питанню визначення меж центральної частини міста присвячено ряд публікацій [19-21]. Наприклад, в роботі [21] запропоновано віднести до центральної території не тільки історичний центр зі старою забудовою, але й ті земельні ділянки, що прилягають до нього, якщо там є нестача місць для стоянки, і автомобілі, що припарковані на проїжджій частині, створюють труднощі для руху транспортних потоків цими ділянками.

Для визначення ефективності функціонування наявних чи проєктованих кільцевих ділянок вулично-дорожньої мережі та визначення їх необхідної пропускної спроможності можна побудувати модель транспортної мережі міста. Звичайний підхід до моделювання мережі [22] передбачає розподіл території всього великого міста на окремі невеликі транспортні райони із подальшим визначенням чи обчисленням обсягів відправлення та прибуття автомобілів для кожного з цих транспортних районів. Основна складність при такому підході до моделювання полягає у значній трудомісткості отримання вихідної інформації для побудови та калібрування моделі для кожного конкретного міста. Пряме вимірювання об'ємів відправлення/прибуття за допомогою записування номерів автомобілів, які виїжджають і в'їжджають, вимагає значних людських і фінансових ресурсів. А непряме визначення цих транспортних ємностей районів за їхнім типом та площею забудови є недостатньо точним.

У ході роботи було зроблено припущення, що нема потреби моделювати з високою точністю всю транспортну мережу міста, якщо поставлено завдання поліпшення організації руху лише в його центрі. Було запропоновано розділити

територію міста на укрупнені транспортні райони. Так були виділені центр і укрупнені периферійні райони. Однак постало питання про визначення кордонів укрупнених районів та центрів їх транспортного тяжіння. Крім того, в межах одного такого укрупненого району може існувати декілька центрів транспортного тяжіння — вокзалів, великих торгових центрів тощо.

Подальші дослідження будуть присвячені питанню уточнення координат умовного центру тяжіння укрупнених районів з урахуванням типу забудови, наприклад, селитебних зон, промислових зон, торговельних зон, транспортних вузлів.

Проблема підвищення ефективності функціонування транспортних систем великих міст заторів є актуальною з огляду хоча б на наявність у таких містах транспортних заторів [23]. Для поліпшення ситуації для кожного конкретного міста необхідно мати актуальну інформацію про поточний стан вулично-дорожньої мережі (ВДМ) та параметри транспортних потоків (ТП). Одним з параметрів транспортних потоків є інтенсивність, тобто кількість транспортних засобів, які проїжджають через переріз дороги у певному місці ВДМ за певний період часу, наприклад, за годину[24].

Найпростішим в організаційному і технічному розумінні є ручний облік інтенсивності із залученням людей-обліковців, які фізично знаходяться у заданих точках ВДМ у визначений час та спостерігають за автомобілями, заповнюючи відповідні бланки. Такий спосіб є доволі громіздким та неточним, оскільки потребує залучення великої кількості людей, і точність обліку знижується із підвищенням інтенсивності транспортних потоків, що є характерним для великих міст, бо зі збільшенням інтенсивності збільшується вірогідність обліковцям «прогавити» частку автомобілів з потоку через людський фактор. Трохи поліпшити роботу обліковців можна за допомогою звичайних відеокамер. При цьому збільшується зручність ручного обліку, бо обліковець може зробити паузу або «перемотати» запис, якщо він пропустив якийсь автомобіль. При цьому на обліковця також не впливають погодні умови.

Однак, серйозні сучасні дослідження інтенсивності транспортних потоків передбачають автоматизований облік транспортних засобів із залученням детекторів транспорту різних типів.

Будь-яка система керування, що реагує на дорожній рух, залежить від її здатності визначати трафік для локального контролю перехресть та/або загальносистемного коригування планів часу. Система досягає цього за допомогою одного або кількох із наведених нижче типів детекторів [23].

Детектори, що потребують монтажу під поверхню дорожнього одягу:

а) індуктивна петля: найпоширеніша технологія детектора. Складається з одного або кількох витків ізолюваного петлевого дроту, намотаного в неглибокий паз, випиляний на тротуарі. Петлеві детектори бувають різних розмірів і форм, і можна використовувати різні конфігурації залежно від області, яку потрібно виявити, типів транспортних засобів, які потрібно виявити, і мети (наприклад, виявлення черги, підрахунок транспортних засобів або вимірювання швидкості);

б) магнітометр: Вимірює зміни як горизонтальних, так і вертикальних компонентів магнітного поля Землі. Ранні магнітометри могли виявляти лише вертикальну складову, через що вони не могли працювати поблизу екватора, де лінії магнітного поля горизонтальні. Новіші двоосьові феррозондові магнітометри долають це обмеження. Магнітометри корисні на настилах мостів і віадуків, де сталева опорна конструкція заважає детекторам петель, а петлі можуть послабити існуючу конструкцію. Магнітометри також корисні для тимчасових установок у будівельних зонах;

в) магнітний: складається з котушки дроту з високопроникним сердечником. Вимірює зміну ліній потоку магнітного поля Землі. Може виявляти лише транспортні засоби, що рухаються швидше, ніж певна мінімальна швидкість, і тому не може використовуватися як детектор присутності. Корисно там, де тротуар не можна розрізати, або там, де пошкоджений тротуар чи мороз розривають дроти індуктивної петлі.

Детектори, що монтуються поруч з проїжджою частиною (неінвазивні):

а) мікрохвильовий радар: передає мікрохвильову енергію на проїжджу частину. CW (безперервний) доплерівський радар може виявляти лише потік і швидкість. FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) радар також може діяти як детектор присутності. Деякі мости з великими сталевими конструкціями можуть спричинити проблеми з системами на базі радарів;

б) активний інфрачервоний: передає інфрачервону енергію від детектора та виявляє хвилі, які відбиваються назад;

в) пасивний інфрачервоний: не передає енергії; виявляє енергію транспортних засобів, проїжджої частини та інших об'єктів, а також енергію сонця, відбиту транспортними засобами, проїжджою частиною та іншими об'єктами;

г) ультразвуковий: передає хвилі ультразвукової звукової енергії та вимірює відстань, яку проходить відбита хвиля. Може визначати кількість транспортних засобів, присутність і зайнятість смуги;

д) акустика: вимірює проїзд, присутність і швидкість транспортного засобу шляхом пасивного виявлення акустичної енергії або звукових сигналів, створюваних рухом транспортних засобів;

е) процесор відеозображення: відеокамери виявляють дорожній рух, а зображення оцифровуються, обробляються та перетворюються на дані про дорожній рух. Може замінити кілька петльових детекторів і вимірювати трафік на обмеженій території, а не лише в одній точці.

Інтенсивність транспортних потоків можна вимірювати за допомогою таких методів, як облік вручну із залученням обліковців із бланками обліку, автоматизований облік із використанням детекторів транспорту різних типів, зокрема камер відеоспостереження із модулем розпізнавання образів та інші технології [25]. Ці інструменти дозволяють збирати дані про кількість транспортних засобів, їх швидкість та час руху, що допомагає планувати оптимальні маршрути та розподілити транспортний потік для покращення ефективності роботи транспортної системи міста та зменшення заторів [26]. Крім того, важливо розробляти та впроваджувати інноваційні рішення, такі як електричні та автономні транспортні засоби, для забезпечення сталої та екологічної мобільності великих міст [22].

У процесі виконання наукових досліджень щодо зниження транспортного навантаження на центральні частини великих та значних міст було проведено обстеження інтенсивності транспортних потоків у контрольних точках в'їзду/виїзду на межах центральної ділової частини міста Харків [20, 22]. Дослідження проводилося у робочі дні тижня для ранкових та вечірніх періодів «пік».

Слід зауважити, що об'єкт обстеження має певні очевидні особливості:

- стохастичний характер характеристик транспортних потоків;
- дискретність досліджуваного параметру;
- виражена циклічність зміни параметру (добові цикли, тижневі цикли, річні цикли) [23,24,25];
- організаційна та технічна складність виконання обстежень.

Одним з питань при організації обстеження було обґрунтування необхідної кількості замірів та вибір конкретних годин доби, днів тижня для виконання замірів. Річ у тім, що через коливання величини інтенсивності транспортних потоків протягом доби, що викликана добовим ритмом людського життя неможливо досягти повторюваності результатів замірів, якщо всі заміри виконати протягом доби по годинах підряд. Також слід було врахувати відмінність результатів замірів у робочі та неробочі дні. Нажаль, через технічні, фінансові та людські обмеження не було можливості провести «тотальні», тобто цілодобові обстеження протягом тривалого часу (тижнів, місяців). Крім того, в рамках поточних досліджень [21, 22] нас більше цікавлять значення інтенсивності в години «пік», особливо в робочі дні, коли через центральну частину міста здійснюються робочі та ділові пересування, і менше цікавлять значення інтенсивності в міжпікові періоди. Тому обстеження проводилися в робочі дні протягом одного тижня у годинні інтервали 8:00-9:00, 9:00-10:00, 10:00-11:00, 17:00-18:00, 18:00-19:00, 19:00-20:00.

Питання добових, тижневих, річних ритмічних коливань значень інтенсивності дорожнього руху досліджувалося, зокрема, в роботах [23, 24, 25], на основі яких були визначені типові значення коефіцієнтів для перерахування годинної інтенсивності руху в добову, а добову в тижневу (див. табл. 3.1) та добової в тижневу (див. табл. 3.2)

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти для перерахунку годинних значень інтенсивності в добові

Години доби	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
Коефіцієнт $k_{нг} = \frac{N_{доб}}{N_{год}}$	7,18	7,05	7,02	6,63	5,61	4,46

Таблиця 3.2- Коефіцієнти для перерахунку добових значень інтенсивності в тижневі

День тижня	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця
Коефіцієнт $k_{нд} = \frac{N_{доб}}{N_{тиж}}$	0,14	0,14	0,14	0,145	0,16

Отже, було вирішено привести всі годинні значення інтенсивності спочатку до добових, а потім до тижневих через відповідні коефіцієнти нерівномірності.

Необхідний обсяг вибірки розраховувався за формулою [26]

$$n_{потр} = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot \sigma^2}{\eta^2}, \quad (3.1)$$

де t_{α} – функція довірчої ймовірності;

σ – середнє квадратичне відхилення, авт./год;

η – крайня дозвільна помилка, авт./год. [26]

$$\eta = \Delta \cdot N_{ср}, \quad (3.2)$$

де Δ - відносна точність обліку.

Розрахунки необхідного обсягу вибірки були проведені окремо по кожному з 14 пунктів спостереження та окремо для напрямку в бік центру міста та для зворотного напрямку. Результати розрахунків показують, що у більшості випадків проведеної кількості обстежень (30) достатньо для заданої достовірності відносної точності спостережень.

4 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ УЗАГАЛЬНЕНИХ ЗМІННИХ ДЛЯ КІЛЬКІСНОГО АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

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 [27]. 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.

На практиці спроба знайти аналітичне рішення в задачах організації руху і проектування доріг і вулиць натрапляє на значні, а іноді і непереборні труднощі, викликані складністю транспортного процесу і громіздкістю математичного апарату. Тому частими є результати, які в кращому випадку мають характер наближеної оцінки, в гіршому – неправильні по суті і тому є причиною помилок.

Кількісна сторона транспортної проблеми привертає до себе увагу в більшій мірі, ніж будь-коли раніше.

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 змінні (інтенсивність – швидкість, 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.

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 [27, 28, 29].

Для визначення кількісних співвідношень замінімо 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 [27, 29] є узагальненими змінними та визначаються на основі теорії подібності і розмірності або методу узагальненого аналізу. Цей метод базується на послідовному використанні безрозмірних величин – критеріїв подібності і відносних змінних. Як відомо, критерії подібності є двоякого роду комбінації постійних параметрів. Це критерії параметричного типу, що є простим відношенням однойменних параметрів, і критерії комплексного типу, які об'єднують в собі різнорідні параметри. Відносні змінні є відокремленими від розподілу змінних на постійні параметри.

На цій основі визначимо критерії подібності Π_n , які надалі використовуємо і як параметри, і як змінні транспортного потоку, представивши їх добутком різних ступенів безрозмірних величин.

Нехай є n розмірних величин p_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$, які характеризують транспортний потік. При цьому як основні одиниці вимірювання транспортного потоку приймемо:

- а) автомобіль $[A]$, чим узагальнюються його геометричні і динамічні параметри;
- б) протяжність $[L]$, (м, км) дороги, автомобіля, динамічного габариту, поперечного перетину дороги тощо;
- в) час $[T]$ (с, год.).

Розмірність будь-якої величини p буде виражена через основні одиниці вимірювання, тобто

$$[p_i] = [L]^{\varphi_i} [A]^{\mu_i} [T]^{\tau_i} \quad i=1,2,3,n. \quad (4.1)$$

Як відомо, будь-який критерій подібності – це деяка комбінація величин $p_1, \dots, p_n$. Тоді

$$\Pi_n = p_1^{z_1}, p_2^{z_2}, \dots, p_n^{z_n} = \Theta[p_1]^{z_1} [p_2]^{z_2} \dots [p_n]^{z_n},$$

де Θ – безрозмірна величина, або

$$\begin{aligned} \Pi_n &= \Theta[L^{\varphi_1} A^{\mu_1} T^{\tau_1}]^{z_1} [L^{\varphi_2} A^{\mu_2} T^{\tau_2}]^{z_2} \dots [L^{\varphi_n} A^{\mu_n} T^{\tau_n}]^{z_n} = \\ &= \Theta[L]^{(\varphi_1 z_1 + \dots + \varphi_n z_n)} [A]^{(\mu_1 z_1 + \dots + \mu_n z_n)} [T]^{(\tau_1 z_1 + \dots + \tau_n z_n)}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Оскільки критерії подібності – величини нульової розмірності, то

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 z_1 + \varphi_2 z_2 + \dots + \varphi_n z_n &= 0 \\ \mu_1 z_1 + \mu_2 z_2 + \dots + \mu_n z_n &= 0 \\ \tau_1 z_1 + \tau_2 z_2 + \dots + \tau_n z_n &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (4.3)$$

Отже, одержали систему трьох рівнянь з невідомими $z_1, z_2, \dots, z_n$. Для визначення числа незалежних змінних складемо матриці

$$\begin{vmatrix} \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n \\ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n \\ \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n \end{vmatrix} \quad (4.4)$$

Позначимо через m ранг матриці, тоді система рівнянь (4.4), як відомо, матиме $n-m$ незалежних

$$z_1^{(1)}, z_2^{(1)}, z_3^{(1)}, \dots, z_n^{(1)}$$

$$z_1^{(2)}, z_2^{(2)}, z_3^{(2)}, \dots, z_n^{(2)}$$

$$z_1^{(n-m)}, z_2^{(n-m)}, z_3^{(n-m)}, \dots, z_n^{(n-m)}.$$

Відповідно до (4.2) кожне рішення $(z_1^{(i)}, z_2^{(i)}, \dots, z_n^{(i)})$ дозволяє одержати один критерій подібності, тому $n-m$ незалежних рішень додадуть $n-m$ незалежних критеріїв.

Використовуючи відому в теорії подібності П-теорему, визначимо критерій подібності [27]

$$П_1 = \frac{P_1}{p_1^{\varphi_1} p_2^{\mu_1} \dots p_n^{\tau_1}},$$

$$П_2 = \frac{P_2}{p_1^{\varphi_2} p_2^{\mu_2} \dots p_n^{\tau_2}},$$

$$П_{n-m} = \frac{P_n}{p_1^{\varphi_n} p_2^{\mu_n} \dots p_n^{\tau_n}}.$$

Оскільки критерії подібності $П, П_1, \dots, П_{n-m}$, безрозмірні величини, тому їх прийнято представляти у вигляді [2, 4]

$$П = f(1, 1, \dots, 1, П_1, \dots, П_{n-m}) \quad (4.5)$$

З виразу (4.5) видно, що чим менше число параметрів, що визначають величину, яка вивчається в транспортному потоці, тим більше обмежена форма функціональної залежності, отже, тим простіше буде вести дослідження.

Розглянемо ряд задач транспортного потоку з метою встановлення узагальнених критеріїв, що характеризують стан транспортного процесу.

Як зазначалося вище, для розв'язання транспортних задач у кількісній формі необхідне послідовне використання безрозмірних величин, тобто критеріїв

подібності і відносних змінних. При цьому розв'язання задачі представляється у формі рівнянь в безрозмірних величинах, якими шукані відносні змінні визначаються як однозначні функції незалежних відносних змінних і критеріїв подібності, що грають роль постійних параметрів» [30]. Таким чином, загальний тип рівняння буде

$$Y = f(x, x_1, x_2, \dots, \mathfrak{T}_1, \mathfrak{T}_2, \dots, P_1, P_2, \dots) \quad (4.6)$$

де Y – шукана змінна транспортного потоку;

x – незалежна змінна;

$\mathfrak{T}$ – критерії комплексного типу;

P – критерії параметричного типу.

Вигляд функції (4.6) в кінцевому виразі не визначається.

Найбільша повнота знань про процес руху транспортного потоку при кількісному дослідженні буде досягнута, коли будуть знайдені розподіли змінних в просторі і часі. Сукупність миттєвих значень, безперервно розподілених в просторі, у фізиці прийнято називати полем [30].

Розглянемо послідовно ряд задач процесу руху автомобілів у транспортному потоці і самого потоку, що ускладнюється.

Спочатку виявимо процес зміни динамічного габариту (відповідно і дистанції) автомобіля в транспортному потоці через близькість автомобілів на просторовій осі проїжджої частини.

Розміри динамічного габариту S визначимо такими величинами:

V – швидкість автомобіля, км/год., м/с;

Q – щільність потоку, авт./км, авт/м;

x – протяжність ділянки смуги руху, км, м;

a – прискорення автомобіля, км/год., м/с;

N – інтенсивність потоку, авт./год., авт/с;

$$S = f(x, V, Q, N, a). \quad (4.7)$$

Аналітичне отримання залежності виду (4.7) важке, експериментальне визначення надзвичайно трудомістке, оскільки вимагається визначити зв'язок між шістьма величинами. Проте, перейшовши до критеріїв подібності, замість $n = 6$ величин одержимо $n-m = 6-3 = 3$ критерії подібності. Знайти зв'язок між трьома величинами значно легше. Прийmemo як основні незалежні змінні x , V , Q , тоді відповідний визначник буде

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \neq 0.$$

$$\frac{S}{V^{\mu_1} x^{\varphi_1} Q^{\tau_1}} = F\left(\frac{N}{V^{\mu_2} x^{\varphi_2} Q^{\tau_2}}, \frac{a}{V^{\mu_3} x^{\varphi_3} Q^{\tau_3}}\right).$$

Перетворюючи, одержимо для динамічного габариту

$$\frac{[S]}{[V]^{\mu_1} [x]^{\varphi_1} [Q]^{\tau_1}} = 1; \quad \frac{[A]^{-1} [L]}{([L][T]^{-1})^{\mu_1} [L]^{\varphi_1} ([A][L]^{-1})^{\tau_1}} = 1,$$

$$[A]^{-1-\tau_1} [L]^{+\mu_1} [T]^{-\mu_1+1-\varphi_1+\tau_1} = 1.$$

Для інтенсивності

$$\frac{[N]}{[V]^{\mu_2} [x]^{\varphi_2} [Q]^{\tau_2}} = 1; \quad \frac{[A][T]^{-1}}{([L][T]^{-1})^{\mu_2} [L]^{\varphi_2} ([A][L]^{-1})^{\tau_2}} = 1,$$

$$[A]^{1-\tau_2} [L]^{\tau_2-\mu_2-\varphi_2} [T]^{\mu_2-1} = 1.$$

Для прискорення

$$\frac{[a]}{[V]^{\mu_3}[X]^{\varphi_3}[Q]^{\tau_3}} = 1; \frac{[L][T]^{-2}}{([L][T]^{-1})^{\mu_3}[L]^{\varphi_3}([A][L]^{-1})^{\tau_3}} = 1,$$

$$[A]^{-\tau_3}[L]^{1-\mu_3-\varphi_3+\tau_3}[T]^{\mu_3-2} = 1.$$

Звідки знаходимо

$$\left. \begin{array}{l} 1 - \tau_1 = 0 \\ \mu_1 = 0 \\ 1 - \varphi_1 - \mu_1 + \tau_1 = 0 \end{array} \right\}, \left. \begin{array}{l} 1 - \tau_2 = 0 \\ \tau_2 - \mu_2 - \varphi_2 = 0 \\ \mu_2 - 1 = 0 \end{array} \right\}, \left. \begin{array}{l} -\tau_3 = 0 \\ 1 - \mu_3 - \varphi_3 + \tau_3 = 0 \\ \mu_3 - 2 = 0 \end{array} \right\},$$

$$\tau_1 = -1; \mu_1 = 0; \varphi_1 = 0$$

$$\tau_2 = 1; \mu_2 = 1; \varphi_2 = 0; \tau_3 = 0; \mu_3 = 2; \varphi_3 = -1$$

Отже, критерії подібності будуть

$$\mathfrak{I}_2 = \frac{N}{VQ}; \quad \Pi_1 = SQ; \quad \mathfrak{I}_3 = \frac{xa}{V^2}, \quad (4.8)$$

$\Pi_1 = \Phi(\mathfrak{I}_2, \mathfrak{I}_3)$, звідки для динамічного габариту можна записати

$$S = \frac{1}{Q} \Phi\left(\frac{N}{VQ}, \frac{xa}{V^2}\right). \quad (4.9)$$

Проаналізуємо одержані критерії подібності (4.9) за умови, що вони постійні.

З першого критерію Π_1 видно, що динамічний габарит автомобілів в потоці залежить зворотно-пропорційно тільки від щільності транспортного потоку, Q , ($S=Q^{-1}$). Це критерій параметричного типу, але широко застосовується в прикладних розрахунках.

Другий критерій – $\mathfrak{S}_2$ укажує, що збільшити розміри інтенсивності, N , транспортного потоку на ділянці смуги руху можна тільки зі збільшенням швидкості потоку V , або зі зменшенням відстані між автомобілями, тобто збільшивши щільність потоку. Критерій $\mathfrak{S}_2$ характеризує міру відношення між інтенсивністю потоку і пропускною спроможністю ділянки. В практичних розрахунках цей критерій, як відношення N / N_m , застосовується для оцінки рівня завантаження дороги і рівня зручності руху. Тому критерій $\mathfrak{S}_2$ є узагальненим критерієм для оцінки транспортного процесу і враховує вплив стану доріг на зменшення швидкості руху. Позначимо його як критерій B . У транспортній теорії співвідношення $\mathfrak{S}_2$ відоме як рівняння стану потоку [31].

Критерій $\mathfrak{S}_3$ характеризує відносну (у зіставленні з інерційними) величину динамічних можливостей автомобіля, і тому він є істотним, коли автомобіль рухається в потоці з частими обгонами і різкими прискореннями. Ним враховується шум прискорення.

З вимоги постійності критерію $\mathfrak{S}_3$, позначимо його C , витікає, що швидкісні можливості автомобіля $x \cdot a$ мають перевищувати швидкість транспортного потоку V_i

$$C = \frac{xa}{V_i^2}; V_i = \sqrt{xa} | C=1, \quad (4.10)$$

Критерій C враховує вплив транспортного потоку на швидкість руху автомобіля в потоці і, крім того, він укажує, що кількісне значення швидкості транспортного потоку істотно залежить від довжини ділянки, на якій ця швидкість визначається, а це не завжди враховується в експериментальних спостереженнях.

5 ФОРМУВАННЯ ПРИНЦИПІВ ПРОЕКТУВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

Проблеми узгодження взаємодії між окремими підсистемами управління, необхідність оперативного реагування на істотно мінливі внутрішні та зовнішні умови, багаторежимність функціонування дорожнього руху та суперечливість вимог, що висуваються до системи управління дорожнього руху у містах, сприяли появі таких функціональних завдань, як координація, оперативне управління й прийняття рішень в СУДР. Для встановлення взаємозв'язку традиційних завдань із новими завданнями управління розглянемо функціональну структуру багатооб'єктної системи управління. Під структурою СУДР розуміємо по-перше, загальноприйняте якісне визначення структури системи як сукупність елементів, між якими існують певні зв'язки [32] або по-друге, широко розповсюджену математичну модель структури як решітки, тобто частково впорядкованої сукупності, у якій кожна двоелементна підмножина має як точну верхню, так і точну нижню границю [33]. Використання такого підходу дозволить надалі формалізувати структуру СУДР у вигляді спеціального орієнтованого мультиграфа. За рахунок наявності складних взаємозв'язків між окремими елементами системи великої розмірності змінних, що характеризують систему в цілому, систему управління проектують у вигляді ієрархічної системи, на кожному функціональному рівні якої засобами обчислювальної техніки вирішуються завдання управління певного типу. Системи такого типу містять замкнутий контур визначення керуючої дії на об'єкт управління та забезпечують зв'язок об'єкта з керуючим пристроєм.

Із урахуванням визначених функціональних завдань та мети автоматичного управління, до яких належать інтелектуальні СУДР, можливо припустити, що у СУДР існує відповідність призначення цих рівнів певним принципам автоматичного управління. Пропонуємо розглядати послідовно чотири рівні управління: локального регулювання (рівень системи автоматичного регулювання (САР)), тактичної оптимізації (рівень системи автоматичного управління (САУ)),

координації параметрів із оптимізацію, та оперативного управління й прийняття рішень (рис. 5.1), зв'язаних між собою відповідно за принципами замкнутого контуру управління.

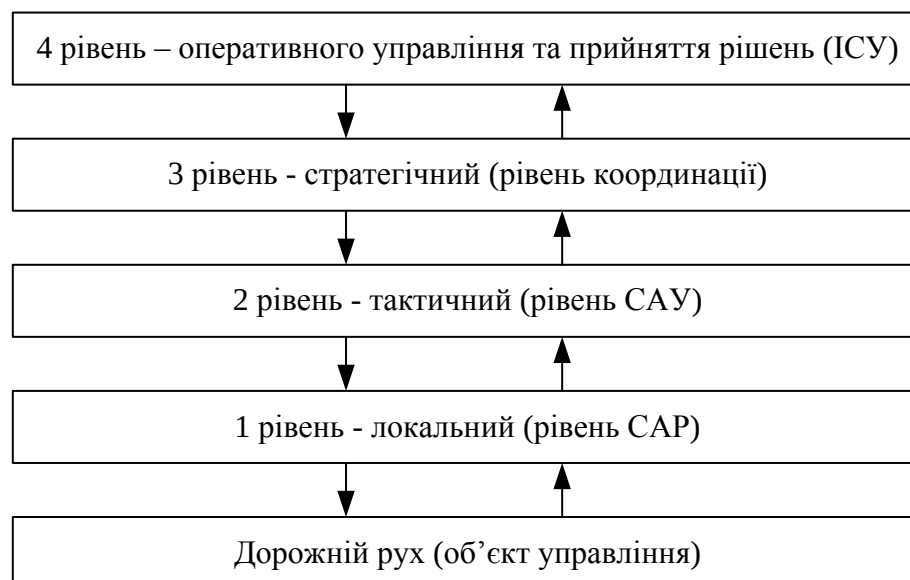


Рисунок 5.1 – Схема ієрархічної структури системи управління дорожнім рухом

Об'єкт управління, а саме дорожній рух, відноситься до структурно-складних об'єктів великої розмірності та може мати відмінність генеральних цілей управління від цілей функціонування його елементів із урахуванням існуючих протиріч в моделях зміни параметрів ТП при зміні параметрів дорожніх умов.

На першому рівні здійснюється керування об'єктом управління технічними засобами регулювання, які безпосередньо впливають на дорожній рух. Це – світлофори, керуючі дорожні знаки, засоби відеофіксації та контролю за рухом транспортних засобів. Саме цей рівень відповідає класу систем стабілізації, які утримують параметри ТП (інтенсивність та швидкість дорожнього руху) за відповідним керуючим впливом, що визначається на верхньому рівні. Саме на цьому рівні здійснюється регулювання дорожнього руху за методами автоматичного регулювання.

Локальний рівень має ознаки систем автоматичного регулювання (САР) як сукупності об'єкта регулювання і регулятора у ланцюзі апаратного зв'язку. Структурні елементи САР належать до класу SISO-систем (Single Input Single

Output) із зосередженими постійними параметрами. Вплив середовища й неадекватності відповідних математичних моделей об'єкту призводять до того, що функціонування об'єкта відбувається в умовах невизначеності та проявляється через неузгодженість керуючих впливів. Рівень САР забезпечує рішення задач автоматичного регулювання, тобто стабілізації або програмної зміни параметрів об'єкту відповідно із установками, що визначені на вищому рівні.

Другий рівень функціонує за типом систем узгодження, де керуючий вплив формується на підставі визначених керованих змінних для заданого алгоритму управління. Цей принцип відповідає основам адаптивного управління та передає на перший рівень керуючий вплив або у вигляді циклу світлофорного регулювання, або у вигляді рівня швидкісного режиму руху транспортного потоку. На тактичному рівні вирішуються завдання систем автоматичного управління (САУ), які відносяться до класу МІМО- систем (Multiple Input Multiple Output) де керуючий вплив формується на підставі алгоритму управління із урахуванням зміни параметрів об'єкту управління у часі та забезпечує ефективність процесу дорожнього руху.

Системам програмного управління відповідає стратегічний рівень управління, який призначений для оптимізації параметрів управління, де потрібно враховувати «інтереси» підлеглих оптимізатору підсистем. На цьому рівні повинні бути застосовані сучасні інформаційні та керуючі технології для узгодженого управління роботою регуляторів нижчого рівня та відповідні методи оптимізації параметрів управління.

Рівень оперативного управління містить керуючий орган (колектив фахівців або особа), що приймає рішення – ОПР. На цьому рівні узагальнені цілі та задачі системи управління перетворюються у конкретні установки для нижчих рівнів управління на підставі визначення загального критерію ефективності управління ДР. На рівні оперативного управління та прийняття рішень здійснюється узагальнений контроль за функціонуванням об'єкту управління та у оперативному режимі особою, що приймає рішення (ОПР), визначаються дії вибору керуючого впливу на об'єкт управління у разі необхідності.

При такому підході відбувається розподіл ресурсів управління між окремими підсистемами управління та прийняття рішень також і у позаштатних ситуаціях. Кращий спосіб забезпечення ефективної роботи цього рівня – застосування «швидких моделей» для нижчих рівнів ієрархії й об'єкта управління. Кращі результати мають місце при повній автоматизації функцій оперативного управління й прийняття рішень, що обумовлено підвищеними вимогами до якості та швидкодії процесу прийняття рішень ОПР.

До опису завдань, що мають бути розв'язані на кожному рівні ієрархії СУДР належить наступне. Якщо об'єктом управління в СУДР є транспортні потоки, то під характеристикою об'єкта розуміється вектор, компонентами якого є значення інтенсивності, швидкість потоку й показники якості управління (наприклад, тривалість затримки, число зупинок і т.д.). При описі об'єкта необхідно враховувати й ряд особливостей, що мають ознаки технічного, соціального, економічного та екологічного типу:

- висока складність об'єкту управління, пов'язана з його специфікою й пояснювана, насамперед, можливістю виникнення відмінностей мети управління об'єктом від цілей функціонування його елементів;

- стохастичність поведінки об'єкту, що пов'язана із високим рівнем випадкових збурювань, як зовнішніх, так і внутрішніх;

- не стаціонарність параметрів, що пов'язана зі зміною у часі.

Таким чином, процес дорожнього руху як об'єкт управління, відноситься до структурно-складних об'єктів високої розмірності LSS (large scale systems) систем, що складаються з набору взаємозалежних підсистем. Основними методами дослідження подібних систем є декомпозиція й агрегування, що теоретично обґрунтовані [39]. Принцип агрегування передбачає розбиття транспортної мережі на стандартно описувані елементи та дозволяє розглядати елементи дорожньої мережі різних розмірів з єдиних позицій з різними варіантами організації руху.

Пропонуємо підхід до структурного формування рівнів управління на підставі функцій управління кожного рівня [35].

На рівні САР забезпечується рішення завдань локального автоматичного регулювання, тобто програмної зміни параметрів об'єкта відповідно до налаштувань, що визначаються та задаються на вищому тактичному рівні. У якості технічних засобів на рівні САР можуть бути використані як цифрові регулятори (у тому числі й мікропроцесорні), так і традиційні регулятори безперервної дії (рис. 5.2). САР формується як сукупність об'єкта управління (ОУ) та світлофорного пристрою () у якості виконавчого приладу системи управління із регулятором (ДКЛ) – дорожнім контролером локальним. Алгоритм (АЛУ) розрахунку циклу світлофорного регулювання ($T_{\text{ц}}$) розраховується заздалегідь та заноситься до ДКЛ.

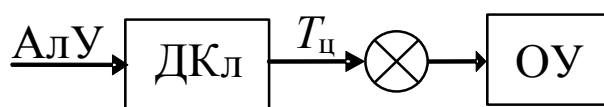


Рисунок 5.2 – Структурна схема САР

Принцип дії системи САР є робастним («грубим») до зміни її вхідних параметрів [41], що означає, що САР, незважаючи на зміну вхідних параметрів, повинна регулювати ТП за розробленим заздалегідь алгоритмом. Робастне управління являє собою сукупність методів теорії управління, метою яких є визначення керуючого впливу при наявності не повного та не докладного опису об'єкту управління. Особливе місце серед понять теорії робастного управління займає невизначеність вхідних параметрів, саме воно відображає неточність параметрів управління дорожнім рухом. Робастність передбачає невелику та вчасну зміну виходу розімкнутого контуру системи управління (циклу світлофорного регулювання) при зміні параметрів об'єкту управління (інтенсивності N та складу транспортного потоку K_c). Наявність такої властивості необхідна, тому як параметри об'єкту в реальних умовах змінюються, а керуючий вплив потребує додаткових розрахунків. Такий принцип дії відповідає робастному (грубому) управлінню об'єктом що до параметрів інтенсивності ТП та застосовується для управління об'єктами із неповним описом та невизначеністю, що має місце у процесі локального управління. Це і є недоліком такого типу управління.

Уникнути цього недоліку робастних систем можливо за допомогою адаптивних систем управління. Саме в такий спосіб формується процес управління для об'єктів, параметри яких невідомі з початку функціонування системи, а властивість адаптації досягається шляхом формування математичної моделі об'єкту управління для визначення впливу на нього. Тому особливістю адаптивних систем управління є можливість отримання входної інформації для формування керуючих впливів та наявності апіорної інформації стосовно невизначеності у системі. Це і є принциповою відмінністю адаптивного управління від робастного, яка реалізується на другому рівні управління.

На другому тактичному рівні управління дорожнім рухом входні параметри ОУ складаються з параметрів ОУ ($N(t)$, K_c) і впливу зовнішнього середовища, що обурює об'єкт управління – $z(t)$. Вихідні параметри також підрозділяється на вимірювані $N(t)$ і не вимірювані. У процесі управління ДР до таких параметрів відноситься пропускна спроможність транспортної мережі $P(t)$. Керуючий сигнал системи $u(t)$ формується в регуляторі на підставі заздалегідь розробленої моделі об'єкта управління.

На рис. 5.3 наведено структурну схему САУ другого рівня управління.

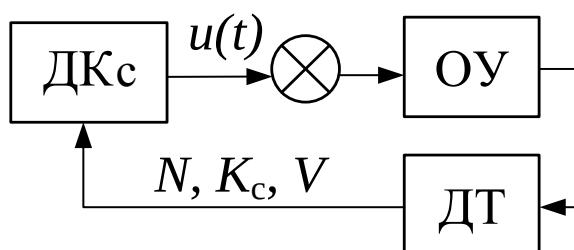


Рисунок 5.3 – Структурна схема САУ

При зміні поточних параметрів ОУ змінюються керуючі впливи на ОУ, що відповідає принципам адаптивного управління об'єктом. Входними параметрами до системного дорожнього контролеру (ДКс), який виконує функції не тільки регулятора (як на локальному рівні), а й блока місцевого керування, є параметри транспортного потоку: N – інтенсивність, V – швидкість, K_c – склад транспортного

потоків, які входять до алгоритму управління та вимірюються детекторами транспорту (ДТ).

Технічні засоби регулювання (), а саме – світлофорний пристрій, чи керований дорожній знак – отримують сигнал управління $u(t)$ та передають на об'єкт управління.

Рівень САУ призначений для управління обмеженою кількістю об'єктів, підлеглих відповідним блокам місцевого керування (ДКс). Визначення мети управління для цього рівня може відрізнятися від загального критерію функціонування всієї системи. У всякому разі, у критеріях необхідно враховувати «власні інтереси» об'єкту управління. Технічні засоби рівня САУ, а також засоби більш високих рівнів ієрархії, повинні використовувати сучасні комп'ютерні технології, засоби швидкісного зв'язку збору та обробки інформації для реалізації адаптивного управління.

На третьому стратегічному рівні здійснюється координація та оптимізація управління для узгодження роботи місцевих пристроїв керування нижчого рівня для досягнення загальної мети функціонування всієї системи управління в цілому. Визначення оптимальних керуючих впливів на дорожній рух в умовах міста, коли щільність транспортного потоку впливає на режими руху на головних магістралях транспортної мережі, є складним завданням із великою розмірністю параметрів. Взаємний вплив параметрів об'єкту управління, технічних засобів регулювання та вулично-дорожньої мережі (параметри нижчих рівнів управління) формує умови та обмеження до математичного апарату при розробці алгоритму управління та процесу прийняття рішень, щодо вибору керуючого впливу, що здійснюється на вищому рівні управління.

Необхідний рівень обслуговування ТП на елементах ВДМ забезпечується за рахунок організації рівномірного руху транспортних засобів шляхом зменшення кількості зупинок при русі. При цьому рух приймає ознаки упорядкування та сталості, що суттєво підвищує пропускну спроможність ВДМ та екологічну безпеку транспортної системи.

Найбільш дієві методи управління цього рівня – це магістральне або координоване управління із вирішенням задачі оптимізації керуючих впливів. При цьому для оптимізації процесу дорожнього руху використовується один або кілька критеріїв, що відбивають «інтереси» всієї ієрархічної системи. На цій підставі можливо стверджувати, що стратегічний рівень управління реалізує принципи автоматичного цілеуказання, що потребує розробки спеціалізованого математичного та програмного забезпечення для систем управління дорожнім рухом та методів інтелектуального управління (імітаційні моделі та моделі прогнозування зміни параметрів ТП).

Рівень оперативного управління й прийняття рішень містить крім центру управління технічним забезпеченням СУДР, керівний орган (колектив фахівців або особа, що приймає рішення (ОПР)), забезпечений сучасними комп'ютерними технологіями для проведення процедури формування варіантів рішення та вибору найбільш ефективного. На цьому рівні загальні цілі й завдання, що стоять перед системою, перетворюються в конкретні установки для нижчих рівнів управління. Крім того, відбувається розподіл ресурсів управління між окремими підсистемами й прийняття рішень у різних позаштатних ситуаціях. Ідеальний засіб для забезпечення ефективної роботи ОПР – це використання «швидких моделей» із застосуванням елементів ІСУ (формування баз моделей управління, баз даних) для оперативного рівня управління. Особливий інтерес викликають варіанти повної автоматизації функцій оперативного управління й прийняття рішень, які обумовлені підвищеними вимогами до якості прийнятих рішень і обмеженнями на час рішення, а також (в окремих випадках) неможливістю організації умов для нормальної роботи ОПР. Такий підхід обумовлює вимоги до проектування гібридної системи управління дорожнім рухом на підставі отриманого структурного та функціонального опису розподілення методів та алгоритмів управління дорожнім рухом. У сфері автоматизації різних технологічних процесів до дійсного моменту використовуються різні мікропроцесорні пристрої, але тенденцією останніх років стало розповсюджене використання Internet-технологій (ІТ-системи управління) [6], що дозволяють гнучкіше інтегрувати послуги сучасних технологій зв'язку й

управління. У такій системі задля взаємодії із пристроями, що входять до складу об'єкту управління, можуть використовуватися різні типи:

- IP-відеосервери, що підтримують якісний потік відеоінформації (MPEG-4) і синхронну трансляцію аудіо- і відео потоків;

- спеціалізовані асинхронні сервери доступу, що забезпечують підключення сенсорів, датчиків і програмувальних пристроїв управління із застарілими протоколами послідовної передачі даних RS- 232/422/485 до Ethernet-мереж;

- Internet-сервери введення й виводу, що безпосередньо обслуговують сенсори, датчики та виконавчі механізми;

- спеціалізовані шлюзи, наприклад, ModBus-Internet або програмувальні сервери доступу, через які до Ethernet-мережі підключаються пристрої, що підтримують інші промислові протоколи;

- дорожні контролери – мікропроцесорні пристрої, що забезпечують швидке перетворення параметрів ТП або безпосереднє локальне управління у вузлах транспортної мережі. Такі контролери взаємодіють із пристроями контролю й управління на дорогах і за рахунок вбудованого RISC-процесора беруть на себе більшу частину завдань системи управління.

Отримані результати дослідження структури та функцій СУДР, що підтверджують цілісність та системність запропонованого підходу, зведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Реалізація багаторівневого управління дорожнім рухом

Рівень	Тип управління	Тип параметрів	Керуючий елемент
1 рівень	Автоматичне регулювання	статичні	ДКл
2 рівень	Адаптивне управління	динамічні	ДКс
3 рівень	Оптимізація, координація	квазідинамічні	ЦУ
4 рівень	Гібридне інтелектуальне управління	бази даних бази моделей	ОПР

Відомо, що ІСУ має три режими роботи в реальному часі [38]:

- статичний – рішення завдань в умовах вихідних даних і знань, що не змінюються в часі;
- квазідинамічний – параметри інтерпретують ситуацію, що змінюється в деякому тимчасовому інтервалі;
- динамічний – у цьому режимі вирішують завдання в умовах даних і знань, що змінюються в часі.

Тоді, при наявності у системі управління дорожнім рухом декількох рівнів управління, такий підхід до визначення режимів роботи ІСУ передбачає наявність сукупності алгоритмів управління дорожнім рухом для кожного рівня управління [39, 40].

На стратегічному рівні, де функціонують пристрої системного керування що до координації параметрів транспортного потоку доцільним буде застосування квазідинамічного режиму, бо параметри об'єкту управління змінюються у деякому періоді часу при русі (пікові години, нічний період та сталий рух автотransпортних засобів) по транспортній мережі.

Динамічний режим функціонування системи управління вважаємо доцільним застосовувати на тактичному рівні керування, тому що параметри транспортного потоку потребують корегування у часі як на перегонах так і на перехрестях транспортної мережі, протягом часової довжини циклу світлофорного регулювання, або величини кратної їй.

На рівні прийняття рішень, згідно ромбовидної структури ІСУ дорожнім рухом функціонують два центри управління дорожнім рухом: перший – технологічний, що може у статичному режимі контролювати параметри технічних засобів регулювання та транспортної мережі загалом, та центр оперативного управління та прийняття рішень (ОПР), який повинен функціонувати у режимі реального часу.

Означені особливості та умови функціонування СУДР надають переваги у розробці гібридної інтелектуальної системи управління дорожнім рухом, бо вона є

найбільш ефективною при функціонуванні, коли навколишнє середовище містить дискретні та безперервні елементи [41].

Під гібридною інтелектуальною системою розуміють систему, у якій для рішення завдання використовується більше ніж один метод імітації інтелектуальної діяльності людини. Гібридні інтелектуальні системи розглядають як сукупність аналітичних і імітаційних статистичних моделей. Фахівці University of Sunderland (Великобританія), які входять до складу групи HIS (Hybrid Intelligent Systems) визначають гібридні системи, як великі та складні, що дозволяють поєднувати знання із традиційною обробкою даних. Вони можуть надавати можливість зберігати, шукати й маніпулювати даними, знаннями й традиційними технологіями проектування гібридних інтелектуальних систем, які надають значно ефективніший результат, ніж екстраполяція концепцій існуючих систем. Таким чином системи, до складу яких входять декілька різних підсистем, що мають єдину мету функціонування та виконують загальні дії, відповідають типу гібридних систем.

Відомо [41], що у теорії існує два підходи до побудови гібридних систем: логічний, на підставі моделювання логічного (вербального) мислення; аналітичний, заснований на різноманітних методах формалізації знань.

Наведені ознаки підтверджують, що проектування запропонованої системи багаторівневого управління дорожнім рухом за описаними структурними та функціональними особливостями належить до гібридної інтелектуальної системи із реалізацією аналітичного підходу до побудови розподілених систем управління. До розподілених систем мають відношення і системи, які застосовують данні з мережі Internet.

Наступним кроком розвитку систем автоматичного управління є система автоматичного досягнення мети, що може бути реалізована як інтелектуальна система управління (ICU) із реалізацією автоматичних методів управління. Але невизначеність вхідних параметрів відбиває різну природу зовнішніх збурювань, що діють на дорожній рух, як об'єкт управління та місцеві регулятори. У СУДР основним параметром, що впливає на якість управління, є параметри ТП – інтенсивність (N) та склад транспортного потоку (K_c), які змінюються у часі, тобто

реалізують робастне управління (грубе) до основних вхідних параметрів об'єкту управління на локальному рівні. Усунути цей недолік можливо за допомогою розробки математичної моделі об'єкта з урахуванням зовнішніх впливів на нього. Основна особливість адаптивних систем управління – це застосування первинної інформації для управління, отриманої в процесі функціонування об'єкту.

Для поєднання різних типів управління (САР та САУ) у єдину ІСУ дорожнім рухом було розроблено її структуру (рис. 5.4).

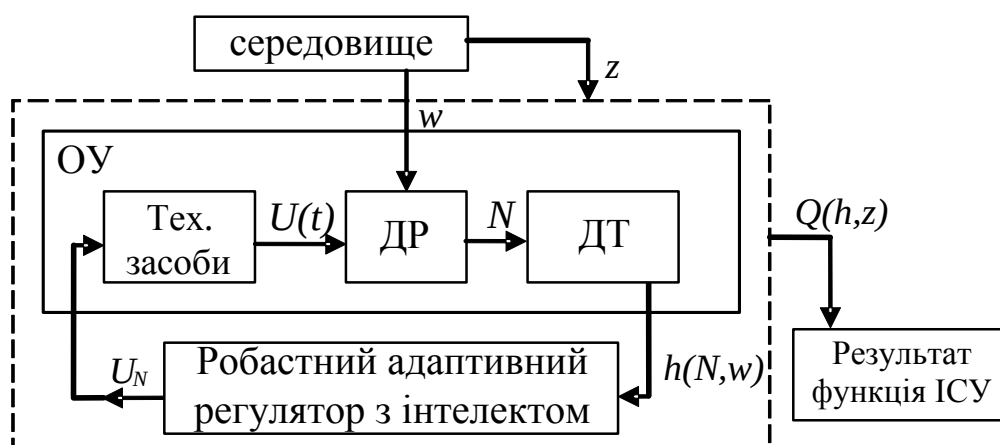


Рисунок 5.4 – Принципова схема ІСУ дорожнім рухом

До складу ІСУ дорожнім рухом входять відомі складові. Тоді узагальненим об'єктом управління є процес дорожнього руху з детекторами транспорту (ДТ) як пристроями для виміру параметрів ТП (N) і технічними засобами регулювання (Тех. засоби), що передають керуючі впливи на об'єкт управління (світлофорні пристрої, динамічні дорожні знаки).

Принцип дії адаптивної системи управління дорожнім рухом полягає у наступному. Вихідними параметрами ДР є параметри ТП (інтенсивність, швидкість, склад транспортного потоку), що формуються під впливом середовища (збурюючий вплив навколишнього середовища ($w(t)$) і параметричні змінні дорожніх умов (z), які пов'язані зі зміною топології транспортної мережі). Тоді на вхід робастного адаптивного регулятора будуть надходити вхідні дані з ознаками невизначеності, що наведено як $h(N, w)$. Регулятор формує керуючий вплив U_N на ОУ ($U_N(t) \rightarrow \text{opt}$) для досягнення мети управління, що впливає на результат функціонування дорожнього

руху, а саме на функцію $Q(h,z)$, яка повинна ураховувати невизначеність вхідних параметрів, змінні параметри умов руху ТП та випадкові збурювання.

Регулятор у поєднанні з ОУ утворює адаптивну СУ, якщо управління забезпечує оптимальне досягнення мети управління. Формування мети управління здійснює регулятор, тому запропонована СУ є системою автоматичного цілеуказання (САЦ) і належить до систем більш високого рівня, ніж САР або САУ. Реалізувати можливість приймати коректні рішення під час функціонування СУ необхідно за допомогою інтелекту (як якоїсь субстанції, що володіє властивістю знаходити обґрунтовані з погляду розуму й інтуїції людини рішення) безпосередньо в регуляторі, який фактично виконує функції центру управління системи.

Результати функціонування САЦ визначаються на підставі функції $Q(h,z)$. Характеристикою досягнення мети, якою є показник ефективності управління $F(U)$ або протилежна їй величина – функція втрат $C(u,h)$, що залежить від обраного правила прийняття рішень на основі спостережуваних даних, при цьому $C(u,h) \rightarrow 0$ [10].

Присутня робастність у САЦ припускає зменшення ефективності системи, тобто $C(u,h) > 0$. Отже, зменшити втрати можливо шляхом введення адаптивних елементів в ІСУ й удосконалення структури регулятора системи, блок-схема якого представлена на рис. 5.5.

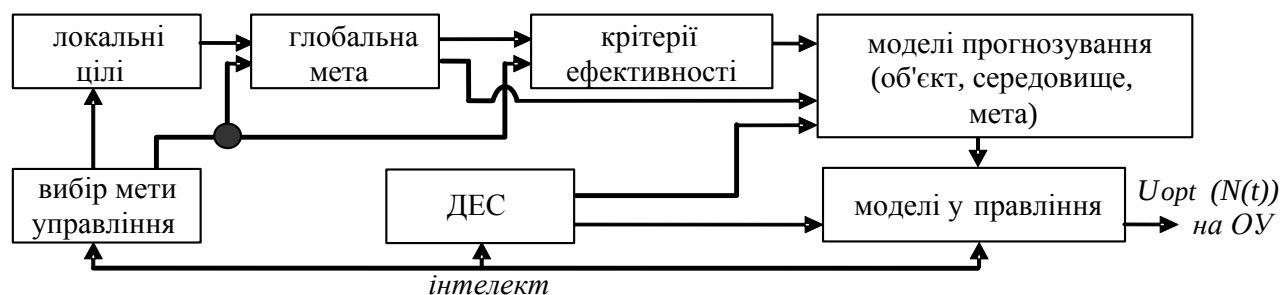


Рисунок 5.5 – Принципова схема регулятора ІСУ

ІСУ повинна мати динамічну експертну систему (ДЕС), що у процесі функціонування уточнює або обирає алгоритми управління, моделі об'єкта та

середовища. Це комп'ютерна система, яка здатна замінити фахівця прийняття рішення (ОПР) у рішенні проблемної ситуації [37].

Наведено структуру запропонованого регулятора ІСУ (рис. 5.5), яка формує керуючий вплив $U_{opt}(N(t))$ на об'єкт управління (ОУ).

До складу ДЕС разом з базами знань належать моделі, що засновані на думці експертів з використанням процедур логічного виводу й прийняття рішень. Подібні системи можуть бути пошуковими або довідковими. Але застосування експертних систем на оперативному рівні управління дорожнім рухом впливає на ефективність та тривалість процесу прийняття рішень ОПР.

У ході досліджень було виявлено [37], що класична концепція експертних систем, що склалася у 70-80 р. ХХ ст., переживає серйозну кризу, пов'язану з її орієнтацією на текстовий людино-машинний інтерфейс, що у теперішній час було замінено графічним – GUI. GUI – графічний інтерфейс користувача (graphical user interface), в якому елементи представлені на дисплеї і виконані у вигляді графічних зображень (кнопок, повзунків, віконець тощо).

На відміну від інтерфейсу командного рядка, у GUI користувач має довільний доступ до всіх видимих об'єктів на екрані, що полегшує розуміння інтерфейсу програми користувачами. Також GUI полегшує взаємодію користувача з програмним забезпеченням завдяки візуалізації інформації. У теперішній час наявність GUI притаманна більшості операційних систем (Windows, Linux, MacOS) і додатків.

Крім того, класичний підхід погано узгоджується з реляційною моделлю даних, що унеможливорює ефективне використання сучасних промислових систем управління базами даних (СУБД) для організації баз знань таких систем. Відомі підходи до розробки експертних систем із сучасними користувацькими інтерфейсами (проекти CLIPS, Java Native Interface) [39, 41].

ДЕС розробляють експерти проблемної області, фахівці з розробки ІСУ, програмісти. Тобто, ДЕС у сучасних СУДР повинна мати структуру спеціального програмного забезпечення із призначенням формувати керуючі впливи на дорожній рух.

Отже, маючи у своєму складі ДЕС, ІСУ має можливість уточнювати моделі й тому вона є адаптивною системою управління, що підвищує ефективність управління ОУ. З урахуванням того, що ДЕС виконує розрахунки, оптимізацію на підставі баз параметрів ОУ та баз моделей управління об'єктом є автоматичною із високою швидкістю. Особливу увагу заслуговує наявність в ДЕС формування системи підтримки прийняття рішень для особи, що приймає рішення (ОПР), яка вкрай необхідна у СУДР.

6 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ І ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ВЕЛОСИПЕДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В МІСТАХ УКРАЇНИ

Постійне зростання автомобілізації і розвиток дорожнього будівництва супроводжується змінами умов життєдіяльності людини, в тому числі негативними: збільшення смертності так каліцтва, руйнування природного ландшафту, забруднення атмосферного повітря, води і ґрунтів токсичними складовими відпрацьованих газів і дорожнім пилом, шумове і вібраційне забруднення, транспортні затори. В складі міської транспортної інфраструктури велосипедний транспорт являється економною та активною складовою, а отже перспективною реальністю міського населення. Велосипедний транспорт створює додаткові можливості для пересування містом та дозволяє економити на витратах на охорону здоров'я і, що найголовніше – майже не впливає на довкілля [42].

В останні роки велосипед стає одним з найбільш пріоритетних транспортних засобів в країнах Європи та багатьох інших країнах світу, де щорічно вдосконалюється:

велосипедна інфраструктура;

ухвалюються рішення про збільшення вело-пішохідних зон замість автомобільних трас;

на державному рівні лобіюються законопроекти про всебічну підтримку велосипедного руху.

Зі зростанням в Україні популярності велосипедного транспорту постає проблема непристосованості вулично-дорожньої мережі до застосування велосипеда в міському середовищі. Відсутність досвіду та нормативної бази призводить до того, що велосипедні доріжки прокладаються стихійно – не мають логічно закінчених маршрутів, не забезпечують комфортний і безпечний велосипедний рух. Україна постала перед проблемою недостатньої кількості нормативно-правової та технічної інформації щодо створення альтернативного виду транспорту (велосипедного

транспорту). Тому узагальнення досвіду проектування велосипедної інфраструктури та визначення перспективних напрямків розвитку є актуальним питанням.

6.1 Закордонний досвід розвитку велосипедної інфраструктури міст

Забезпечення комфортного і безпечного руху у населеному пункті потребує комплексного підходу до вирішення багатьох питань, серед яких особливої уваги заслуговують: прокладання шляхів, організація руху, створення інфраструктури, соціальний захист учасників руху, організація спеціальних комунальних служб. Сталою проблемою сучасних міст України являється задача інтеграції велосипедного руху у дорожньо-транспортну інфраструктуру, яка має ґрунтуватись на відповідних нормативних вимогах.

Особливою проблемою сучасних українських міст є пошук необхідного простору на вулицях міст для включення велосипедного руху на вулично-дорожній мережі. В той же час, успішне вирішення цієї задачі призводить до позитивних змін у якості життя містян. Існує цілий ряд факторів, що визначають необхідність включення велосипедного транспорту у вулично-дорожню мережу населених пунктів [42, 43] (рис. 6.1).

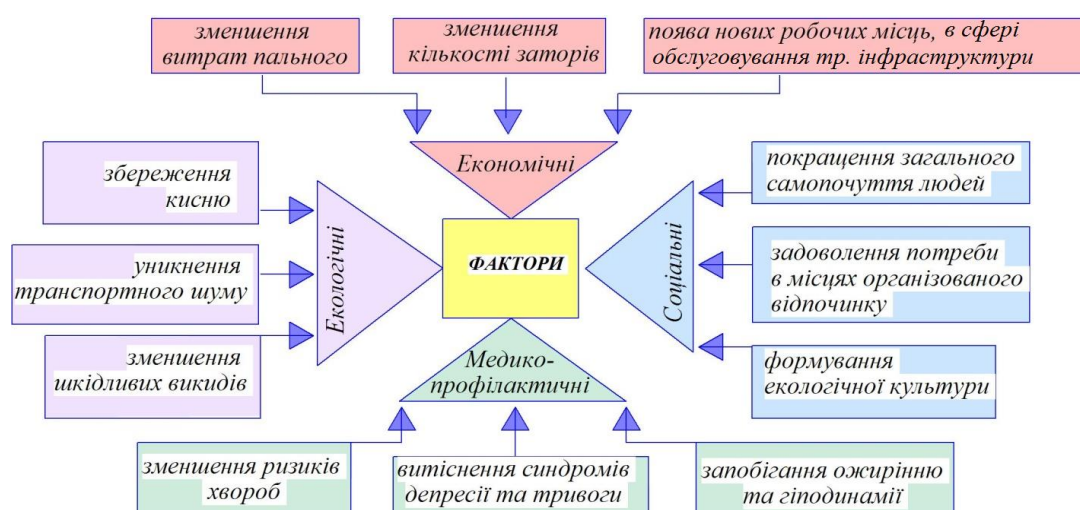


Рисунок 6.1 – Особливості інтеграції велосипедного руху в існуючу інфраструктуру міста

Закордонний досвід проектування інфраструктури для задоволення потреб індивідуального екологічного транспорту має приклади як позитивних, так і негативних рішень, аналіз яких повинен допомогти забезпечити зручні й комфортні умови велосипедного руху у населених пунктах України. У світі використовують різні принципи проектування шляхів для велосипедного руху, вибір яких залежить від особливостей існуючої вулично-дорожньої мережі, її завантаження рухом, рельєфу місцевості, призначення маршрутів і інше.

Провідною країною, де масово застосовувався і інтенсивно розвивався велосипедний рух, є Данія. Розвиток велосипедної інфраструктури в цій країні починався зі створення спеціальних смуг на наскрізних магістралях. Велосипедну зону створювали в центрі й поступово розширювали її, рухаючись до міських околиць. Сьогодні по всій країні є велосипедні доріжки вздовж основних вулиць зі спеціальним покриттям (рис. 6.2, а), за справністю і чистотою яких постійно наглядають, а в зимовий період цілодобово очищають від снігу та льоду (велосипедну смугу руху очищають у першу чергу) (рис. 6.2, б) [42].



а)



б)

Рисунок 6.2 – Приклад улаштування та утримання велосипедної доріжки

Особливою рисою велосипедної інфраструктури у Фінляндії є те, що на межі міст під автомагістралями часто будують спеціальні тунелі для велосипедистів, навіть якщо рівень завантаження магістралей незначний. У містах велосипедні доріжки найчастіше сполучені з пішохідною частиною. Цікавою особливістю

Фінляндії є існування спеціальних велосипедних шляхів, прокладених паралельно основній магістралі, що створює додаткові умови до заохочення туризму, адже рухаючись такими велосипедними доріжками можна спостерігати в безпосередній близькості місцеві пам'ятки.

Велосипедною столицею Німеччини вважається місто Мюнстер, де впроваджено нову транспортну інфраструктуру та посилено регулювання і моніторинг дорожнього руху. У рамках цих заходів створено велосипедні доріжки вздовж головних доріг, розширено велосипедні смуги і велосипедні мости та тунелі на перехрестях.

В багатьох містах Голландії будують велосипедні маршрути, якими можна проїхати крізь усе місто, ніде не перетинаючи шляху автомобілів. А в тих місцях, де вони пересікаються, влаштовуються спеціальні світлофори і навіть розв'язки в різних рівнях.

У Франції багато велосипедних доріжок, які проходять по правому краю автомобільних доріг. Дуже часто велосипедна доріжка сполучена з окремою смугою для громадського транспорту, тобто по ній можуть їхати тільки велосипедисти й автобуси, а іноді таксі (рис. 6.3) [42].

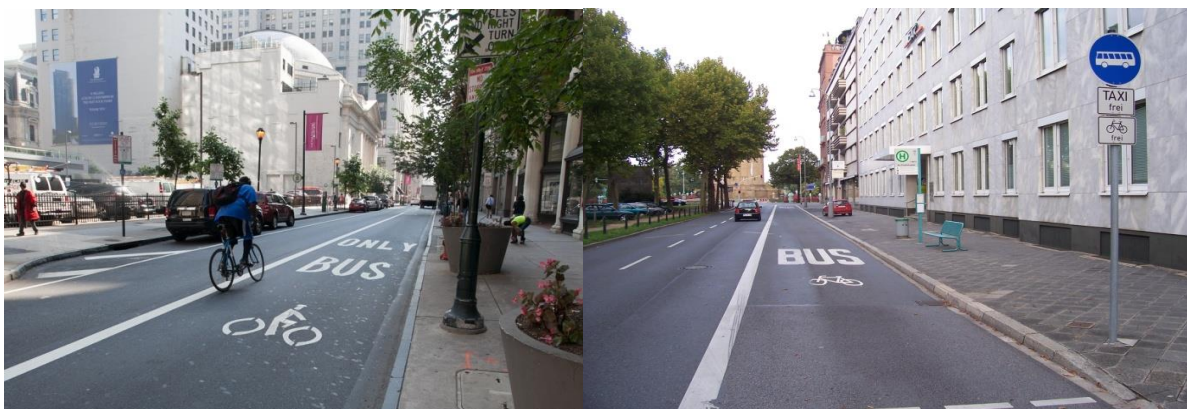


Рисунок 6.3 – Приклади улаштування суміщених велосипедних смуг

Велосипед є дуже поширеним засобом руху у Франції. Цьому сприяє не тільки інфраструктура, що створює сприятливі умови для пересування на двоколісному транспорті, але й впроваджена новітня система прокату. Будь-який парижанин може

купити собі річний абонемент, що дає право взяти велосипед з паркування й зовсім безкоштовно переміщатися на ньому протягом півгодини. Потім велосипед треба залишити на іншому паркуванні або доплатити за перевищення часу користування. Якщо пункт призначення не досягнутий, то ніхто не заважає взяти із цього паркування інший велосипед і поїхати далі.

Особливої уваги заслуговує закордонний досвід з забезпечення безпеки велосипедистів. Так, наприклад, в містах Франції на світлофорних об'єктах між стоп-лінією для автомобілів і пішохідним переходом влаштовується спеціальна ділянка для велосипедистів (рис. 6.4). Тобто, під час забороняючого сигналу світлофору перед автомобілями вибудовуються велосипедисти. Таким чином, коли змінюється фаза регулювання, то пріоритет починати рух і здійснювати маневр (повертати куди потрібно) забезпечується велосипедистам.



Рисунок 6.4 – Приклад відокремлення велосипедистів на перехресті зі світлофорним регулюванням

Китай — країна велосипедів: велосипеди, електровелосипеди, скутери, електроскутери можна зустріти всюди, адже це — дешевий та легкий спосіб пересування. Повсюди прокладені велосипедні доріжки, розставлені знаки, світлофори для велосипедистів, влаштовані паркування, стоянки, пандуси. Більшість велосипедних доріжок у Пекіні жорстко відділено від проїзної частини типовою огорожею. Огорожа ця, крім всього іншого, не допускає паркування вздовж дороги, поліпшуючи у тому числі й умови для роботи автобусів.

Характерною рисою розвитку велосипедної інфраструктури багатьох міст пострадянських країн є допущення грубих помилок при улаштуванні велосипедних шляхів, що впливають на комфорт і безпеку руху. Майже в усіх мегаполісах дуже складно виділити площу для велосипедної інфраструктури, більшість велосипедних доріжок не мають закінченого маршруту руху. Найбільш грубими помилками (рис. 6.5) при проектуванні не враховується зниження бордюрів, вирівнювання асфальтового покриття, прибирання поверхні велосипедної доріжки, існують випадки улаштування велосипедних доріжок по сходах [42].



Рисунок 6.5 – Приклад нераціональних планувальних рішень велосипедних доріжок

Таким чином, із закордонного досвіду, можна виділити основні способи організації велосипедного руху (рис. 6.6): рух велосипедів по тротуарах, по окремих смугах на тротуарах, по автодорогах, по окремих смугах на автодорогах, по відокремлених велошляхах, по підвісних канатних дорогах, по велополітенах, монорельсах і т. ін [43].

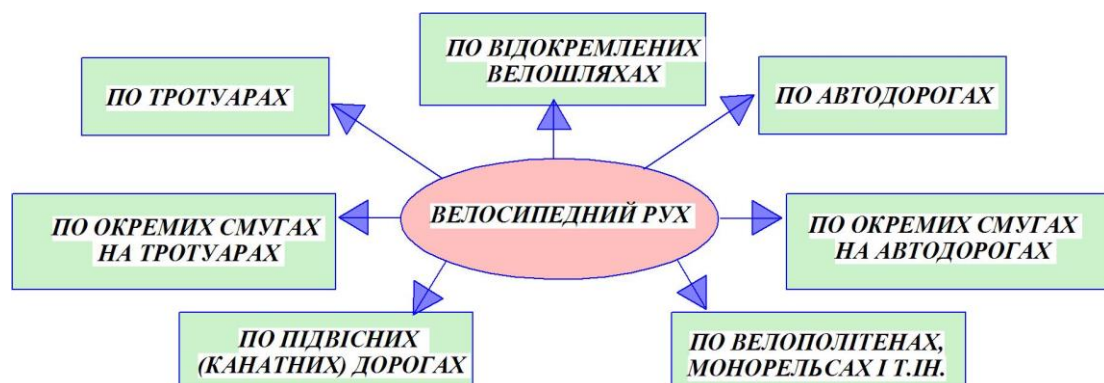


Рисунок 6.6 – Способи організації велосипедного руху

В Україні існує потреба в створенні велосипедної інфраструктури з ефективним включенням велосипедного руху у вулично-дорожню мережу населеного пункту, що є досить складною містобудівельною задачею.

На вибір способу прокладання велосипедних шляхів впливають різні фактори (рис. 6.7), серед яких виділяються основні: схеми планування населеного пункту, конкретних умов прокладання, рельєфу місцевості, призначення велосипедних маршрутів, завантаженості вулично-дорожньої мережі населеного пункту транспортом [43].

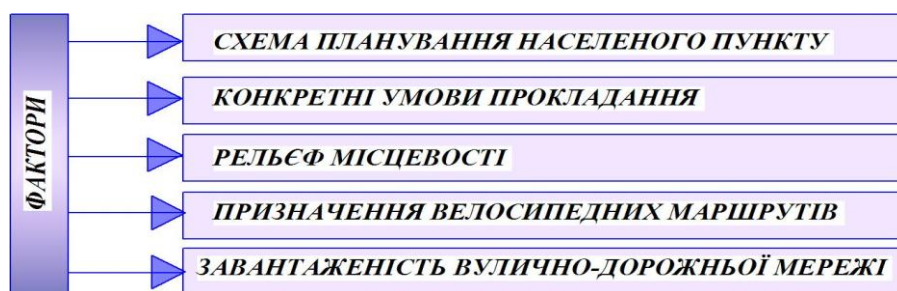


Рисунок 6.7 – Фактори, що впливають на вибір способу організації велосипедного руху

Подальше вивчення проблеми включення велосипедного руху у вулично-дорожню мережу населених пунктів дозволить розробити відповідні нормативні вимоги [43].

6.2 Показники безпеки уразливої категорії учасників дорожнього руху

Особливої уваги в процесі транспортного планування міста і організації транспортного процесу вимагає безпекова складова, а саме вимоги до забезпечення безпеки учасників дорожнього руху. Згідно даних різних джерел в Україні за останні роки перед повномасштабним військовим вторгненням спостерігалось зростання кількості ДТП за участі пішоходів. Так за 2018 рік за даними [44] можна відстежити

кількість ДТП загалом і за участі велосипедистів (рис. 6.8). Наведені дані свідчать про значну кількість ДТП за участі велосипедистів. Кількість таких ДТП становила 1496 од.



Рисунок 6.8 – Дані аварійності на автомобільних дорогах в Україні за 2018 рік

Вже у 2020 році показники аварійності за участі велосипедистів за даними [48] значно погіршились. Так кількість ДТП за участі велосипедистів зросла до 1768 одиниць, в яких загинуло 235 осіб і 1610 – травмовано. Таким чином кількість ДТП за участі велосипедистів зросла на 18 %.

Враховуючи зростання популярності велосипеда серед міського населення та з урахуванням особливої уразливості велосипедистів під час руху на автомобільній дорозі питання забезпечення безпеки постає в першу чергу.

6.3 Стан нормативного забезпечення розвитку велосипедної інфраструктури міст

Особливою рисою сучасної практики містобудування і транспортного планування міст в Україні являється відсутність якісного нормативно-правового забезпечення. Ця особливість призводить до того, що кожне місто проектує власну велосипедну інфраструктуру по-різному. Тобто у інженерів-проектувальників і представників органів місцевого самоврядування відсутній інститут для прийняття рішень.

Зі зростанням популярності велосипедного транспорту в Україні у 2018 році вперше розроблено проект державного стандарту з велосипедної інфраструктури (розробник: Державний дорожній науково-дослідний інститут на замовлення громадської організації «Асоціація велосипедистів Києва»). Розроблено першу редакцію проекту ДСТУ «Планування і проектування велосипедної інфраструктури» містять загальні положення про планування велосипедної інфраструктури на вулицях, дорогах і перехрестях населених пунктів, а також поза населеними пунктами і велосипедних доріжок. Також в велосипедних державних стандартах є вимоги до конструкції і експлуатації велосипедної інфраструктури та велосипедних парковок [45].

Варто відзначити позитивні зміни щодо ДСТУ 2587. Оновлена у 2021 році редакція зазначеного стандарту вже містить нововведення щодо дорожньої розмітки, яка має застосовуватись для потреб велосипедної інфраструктури [46].

Наступним важливим кроком до упорядкування впровадження елементів велосипедної інфраструктури є прийняття у 2021 році ДСТУ 4100 [49].

Зазначені стандарти закладають єдину методологічну основу для планування і проектування велосипедної інфраструктури. Це дозволить забезпечити безпеку велосипедистів в Україні завдяки проектуванню і будівництву уніфікованої велосипедної інфраструктури.

Варто зауважити, що у 2018 році набули чинності оновлені Державні будівельні норми (ДБН) «Вулиці та дороги населених пунктів», які містять окремі норми з будівництва елементів велосипедної інфраструктури.

Аналіз нормативних документів України показав, що представлені в них вимоги до велосипедної інфраструктури, можна структурувати за такими показниками:

- умови проектування велосипедних шляхів;
- загальні вимоги;
- планувальні параметри;
- безпека руху (огороження, перетин з проїзною частиною та тротуаром, регулювання дорожнього руху);
- вимоги до дорожнього покриття.

Тобто нормами України прокладання велосипедних доріжок передбачається там, де велосипедний рух вже розвинений. Але популярним видом транспорту велосипед може стати лише після створення відповідної інфраструктури [47].

Проаналізувавши закордонний досвід у створенні велосипедної інфраструктури, можна сказати, що для України існує ціла низка задач, які потребують вирішення. Міський транспорт і транспортний рух все більше орієнтується на машини, тобто сучасне місто досі створюється і розвивається більше для машин, ніж для людей. Потрібне усвідомлення того, що вплив на довкілля, небезпека на дорогах і погані умови мешкання в містах становлять занадто високу ціну для так званого автомобільного прогресу. Потрібно переорієнтовувати міське населення на використання масового пасажирського транспорту, а також на індивідуальний ефективний та безпечний транспорт – велосипедний.

Проблемами зростання рівня автомобілізації, що спостерігається наразі є: рівень загазованості, порушення сну унаслідок транспортного шуму і ще одним чинником проблеми є транспортування від дверей до дверей, що знижує фізичні навантаження для людей і призводить до проблем із здоров'ям. Всі ці проблеми та задачі можна розділити за різними напрямками (див. табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Напрямки розвитку велосипедної інфраструктури в Україні

Роль велосипедної	Опис
----------------------	------

інфраструктури	
1	2
Соціальна	велосипед підтримує фізичне та емоційне здоров'я людини; велосипед – доволі дешевий транспорт, майже кожен може собі дозволити та використовувати; якість життя; вартість життя; динаміка чисельності населення.
Технологічна	засоби організації дорожнього руху (світлофори дорожні знаки, дорожня розмітка, напрямні пристрої, контролери детектори та інше); об'єкти сервісу (пункти зберігання велосипедів, станції технічного обслуговування, пункти велосипедного прокату та інше); елементи благоустрою (огородження, освітлення, озеленення, засоби естетичної виразності тобто лави, скульптури, фонтани та інше); штучні споруди (мости, водо перепускні труби, тунелі, розв'язки, підпірні стінки та інше); соціальний захист користувачів велосипедами (регулювання прав велосипедистів як повноцінних учасників дорожнього руху, забезпечення зручного перевезення велосипеда у громадському транспорті).
Законодавча	для велосипедної інфраструктури потрібні правила ПДР, якими можна було б користуватися велосипедистам; відсутність державних стандартів для проектування велосипедних доріжок (ДСТУ); відсутність розмітки.

Продовження таблиці 6.1

1	2
Економічна	зниження витрат, пов'язаних із транспортними заторами; зниження витрат на паливе, ремонт та утримання автомобілів; зниження витрат на дотримання безпеки на дорогах; зниження витрат на будівництво, ремонт та утримання доріг; підвищення туристичної привабливості; зростання цін на нерухомість уздовж озелених доріг та стежок; зниження витрат на охорону здоров'я завдяки більшій фізичній активності.
Екологічна	для виготовлення та обслуговування велосипеда потрібні незначні екологічно безпечні ресурси; для поїздок на велосипеді не потрібно жодних ресурсів, окрім людської сили; велосипед не виробляє шкідливих викидів; велосипедна інфраструктура займає дуже мало місця, водночас створюючи умови для якісної мобільності.
Планувальна	розробка базової карти землекористування, типових пунктів відправлення і прибуття для вело маршрутів.

Аналіз закордонного досвіду, а також національного нормативного забезпечення національної системи нормування в частині впровадження велосипедної інфраструктури показав, що наразі здійснено суттєві кроки в напрямку сприяння впровадженню велосипеда, як перспективного виду транспорту в сучасному українському місті. Проте лишається низка невизначених проблем щодо планування транспортної інфраструктури саме з урахуванням велосипедної складової.

7 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАШТУВАННЯ БЛОКПОСТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

У зв'язку з активізацією сепаратистських і проросійських сил в Україні, масового характеру набувають блокпости на дорогах. У всіх регіонах країни блокпости споруджують військові, поліцейські, прикордонники і навіть представники місцевих жителів, яких лякає можливість поширення небезпеки зі східних та південних областей. Відмінність між регіонами, щодо місцевого населення до блокпостам на дорозі, у західних та центральних регіонах жителі такою мірою ставляться з розумінням, у південних та східних регіонах із роздратуванням та байдужістю.

Варто зазначити, що іноді такі блокпости становлять серйозну загрозу безпеці руху, оскільки деякі не відмічені навіть обмеженням швидкості. У темний час доби та в умовах обмеженої видимості водієві потрібно бути гранично уважним при наближенні до населених пунктів, щоб перед автомобілем раптово не виросла стіна з піску чи бетону.

Автомобільні дороги та магістральні вулиці населених пунктів є стратегічно важливими для переміщення військових, продовольства та палива. Тому найважливішим завданням є впорядкування роботи блокпостів на основних магістралях.

7.1 Формалізація фортифікаційного інженерного об'єкту

Блокпост — це забарикадований, укріплений об'єкт з/без озброєною охороною. Зазвичай вони встановлюються в районах антитерористичних заходів на небезпечних територіях [50]. Блокпости можуть розташовуватися на дорогах, вулицях населених пунктів тощо.

Метою встановлення блокпостів є контроль за переміщенням транспортних засобів, людей, їх контроль та огляд, а головне зовнішня ізоляція району дій

збройних формувань, своєчасне виявлення їх руху та шляхів пересування, недопущення прориву через блокпост.

Розрізняють постійний, тимчасовий, «сплячий», пересувний блокпости. Блокпост облаштовують в місцевості з гарним оглядом. У разі достатніх передумов місцевості, проектується та облаштовуються об'їзні шляхи, з метою безперешкодного пропуску військових та спеціальних колон.

Блокпост в інженерному плані має бути належним чином обладнаний. Під'їзди до блокпоста перекриваються залізобетонними блоками та іншими підручними матеріалами, а для зупинки транспортних засобів використовуються шлагбауми. Також, мають бути передбачені різноманітні пастки та перешкоди.

При організації блокпосту необхідно дотримуватися таких умов: потрібно, щоб автомобіль, який намагається прорватися через блокпост або вирватися з зони, що охороняється, не міг. Для цього будуть встановлені бетонні блоки, колючий дріт та інші перешкоди, які не повинні сильно заважати руху, але водночас повинні змушувати транспорт їздити ламаною (зигзагоподібною) лінією, а не прямою. Можна використовувати і пристрої зниження швидкості зі штучною нерівністю.

Досвід військових та спецслужб у місцях проведення АТО дозволив сформуванню найбільш вдалу комбінацію застосування штучних перешкод. На більшості блокпостів використовується по 3 бетонні блоки з одного боку блокпоста та по 3 блоки з іншого боку, тобто в кожную сторону від контролю [50]. Один знаходиться праворуч від дороги по ходу руху, другий – ліворуч, а третій – праворуч. Таке розташування загороджень не дозволяє водієві проїхати контрольовану територію на високій швидкості.

Також, важливою рекомендацією з боку військових та спеціальних підрозділів є облаштування блокпосту з елементом несподіванки, щоб його не було видно здалеку. Що, зокрема, викликало багато ДТП з наїздом транспортних засобів на штучні перешкоди (рис.7.1).

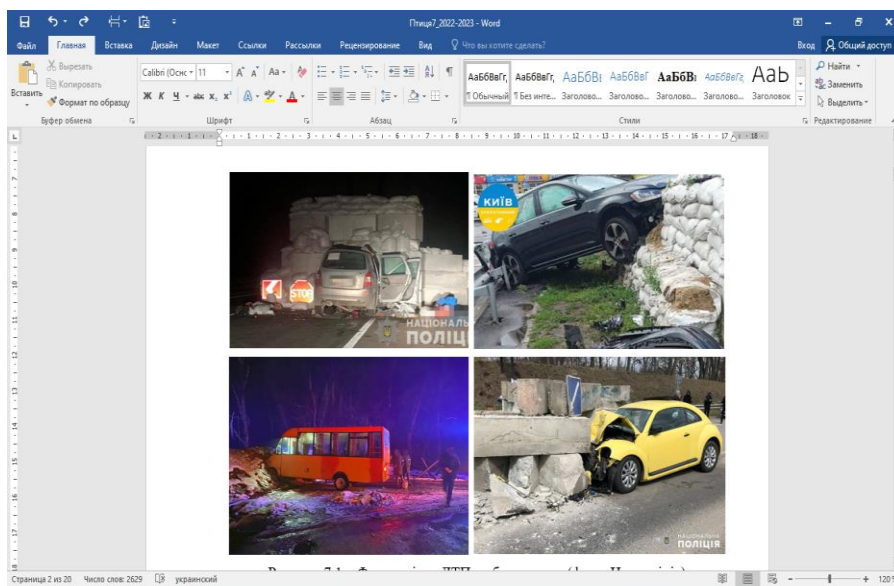


Рисунок 7.1 – Фото з місць ДТП на блокпостах (фото: Національна поліція)

Створення умов руху для транспорту шляхом звуження загальної ширини проїзної частини та примусове направлення транспорту через повороти на прямих ділянках вулиць є головним завданням інженерного облаштування блокпосту. Штучні перешкоди принципово розміщуються так, щоб змусити транспортні засоби сповільнитись. Але, якщо в мирних обставинах такі конструкції покликані забезпечувати зниження швидкості для безпеки, то у воєнний час їх метою буде не тільки зниження швидкості, а і підвищення оборонних можливостей. Забезпечення останнього створює додаткові небезпеки для індивідуального та комерційного транспорту користувачів вулиць і доріг.

Для безпеки громадян зазначену територію блокпоста необхідно обладнати відповідними дорожніми знаками, які вимагають від водіїв знизити швидкість, вимкнути світло й увімкнути аварійну сигналізацію в нічний час, зупинитися (рис. 7.2).

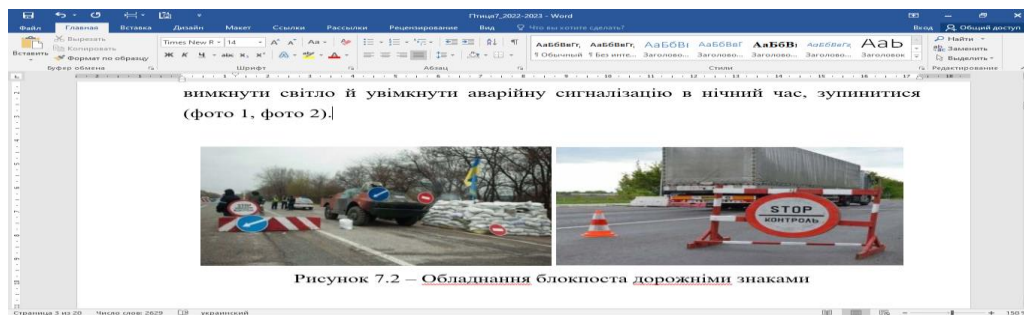


Рисунок 7.2 – Обладнання блокпосту дорожніми знаками [1]

7.2 Підвищення ефективності руху за рахунок упорядкування інженерного облаштування блокпосту

Зниження швидкості руху транспортних засобів, утворення заторів, щільний рух рушійного потоку чинить негативне емоційне навантаження на водія, що призводить до збільшення ризику виникнення дорожньо-транспортної пригоди та аварійної ситуації. В результаті підвищуються транспортні витрати через збільшення часу доставки вантажів та пасажирів.

Під пропускною спроможністю окремого об'єкта розуміють максимально можливу кількість транспортних засобів, що може пройти через переріз дороги за одиницю часу [51]. Пропускна спроможність залежить від таких факторів, як:

- ширина смуги руху;
- позовжній ухил на під'їзді до об'єкту;
- наявність вуличних стоянок;
- наявність зупинок громадського транспорту поблизу об'єкту;
- тип території;
- перешкоди, що створюються великогабаритними транспортними засобами;
- перешкоди, створювані пішоходами;
- перешкоди, створювані інженерним облаштуванням об'єкту.

Створення та облаштування об'єкту спрямоване на уповільнення дорожнього руху, що повинно запобігти проїздам у визначених напрямках, з метою підвищення безпеки та організації антитерористичних заходів. Однак, варто також брати до уваги загальні умови дорожнього руху та вплив інженерного облаштування

подібних об'єктів на загальні характеристики функціонування всієї транспортної системи населеного пункту.

Чергування блоків або острівців на блокпостах, які звужують проїзну частину та змушують транспортні засоби рухатися по звивистій S-подібній доріжці, запобігаючи перевищенню швидкості, повинно відповідати не тільки загальному обґрунтуванню доцільності розташування конкретного об'єкту. Важливим є забезпечення достатнього інформування, або створення передумов обмеження швидкості транспортних засобів при наближенні до об'єкту: встановлення дорожніх знаків; застосування тимчасової дорожньої розмітки; застосування спрямовуючих острівців; встановлення пристроїв примусового зниження швидкості (берлінська подушка, «лежачій поліцейський» тощо). Тобто застосувати систему заходів із забезпечення заспокоєння руху на підході. При цьому:

- буде збережено вимогу військових щодо ефекту несподіванки;
- заходи заспокоєння нормують та вирівнюють швидкість руху транспортного потоку, що забезпечує безпекові та екологічні показники функціонування системи;
- попереднє зниження швидкості суттєво знижує вірогідність наїзду на інженерне облаштування блокпосту та підвищує безпеку дорожнього руху.

Слід також враховувати, що системні заходи заспокоєння руху спроможні формувати загальний темп руху вулично-дорожньою мережею, що суттєво впливає на розвиток мобільності населення з одночасним досягненням найвищих показників безпеки руху. Однак ці заходи можуть негативно впливати при високих значеннях інтенсивності руху транспорту, та ставати причинами формування заторових ситуацій.

Неможливо переоцінити важливість зниження швидкості транспортного засобу в зоні, де існує ймовірність конфлікту між інженерними об'єктами і автомобілем. Чим менше швидкість автомобіля, тим більше шансів запобігти зіткненню. У разі зіткнення з бетонним блоком, транспортного засобу який рухався зі швидкістю 30 км/годину або менше, водій та пасажир зазвичай не отримують тяжких травм. У разі зіткнення з бетонним блоком, транспортного засобу який

рухався зі швидкістю 50 км/годину або більше, суттєво підвищується ризик отримання смертельного травмування (рис. 7.3).

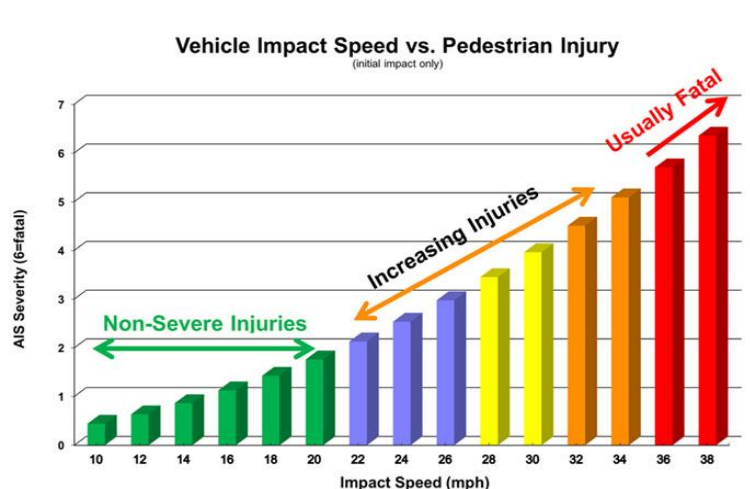


Рисунок 7.3 – Вплив швидкості транспортного засобу на тяжкість наслідків
(Джерело: CE "Rick" Chellman)

Оскільки блокпост облаштовується інженерними загороджувальними пристроями, то важливим є дотримання правильного співвідношення їх розташування. Чергування поворотів або змін смуг руху (рис.7.4), при яких водій змушений повертати декілька разів повинне забезпечувати можливість проїзду всіх типів транспортних засобів. Однак не повинно створювати безперешкодного проїзду диверсійних чи штурмових груп. Криволінійна траєкторія має на меті зменшити швидкість, з якою водій безпечно зможе здійснити об'їзд перешкод. Нижча швидкість, у свою чергу, може призвести до зменшення обсягу трафіку.

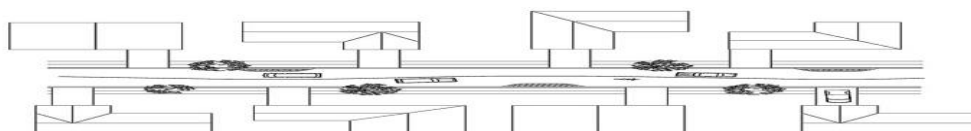


Рисунок 7.4 – Схема об'їзду перешкод

Резюмуючи вищесказане, можна створити певні рекомендації щодо облаштування блокпостів з точки зору безпеки дорожнього руху (див. табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Рекомендації щодо правильного застосування інженерних загороджувальних пристроїв

Напрямок	Умови
1	2
Тип вулиці	З належним ступенем горизонтальної кривизни може підходити для місцевої дороги або Може бути доречним як у міських, так і в приміських умовах
Поперечний переріз проїзної частини	Може використовуватися на односмугових, односторонніх і двосмугових дорогах з двостороннім рухом. Може бути встановлено як на відкритому, так і на міському поперечному перерізі (тобто, бордюр і жолоб) Може застосовуватися як з велосипедними шляхами, так і без них
Обмеження швидкості	Може бути прийнятним, якщо обмеження швидкості зазвичай становить 40 км/год або менше
Інтенсивність руху транспортних засобів	Може бути доречним, якщо обсяг трафіку відносно низький; Попереднє моделювання дозволяє стверджувати, що при максимальній інтенсивності 3500 транспортних засобів на день, показники ефективності не знижуються.
Аварійний маршрут	Може бути доцільним пропрацювання уздовж основного напрямку руху альтернативних маршрутів для розділення загального потоку з високою інтенсивністю
Оцінка	Можна встановлювати на верхніх точках вертикальної кривої, лише якщо є достатня дистанція огляду для зупинки або передбачені попереджувальні знаки.

Продовження таблиці 7.1

1	2
Громадський транспорт	Коли транзитний транспортний засіб проїжджає через шикану, рух транспортного засобу може знизити комфорт пасажирів або сприяти ковзанню чи падінню для стоячих транзитних пасажирів. Незакріплені особисті речі також можна викинути в транспортний засіб.

8 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗАСОБІВ ПРИМУСОВОГО ЗНИЖЕННЯ ШВИДКОСТІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Темпи зростання інтенсивності руху і пробігу автомобільного транспорту в містах значно вище аналогічних показників позаміських територій. За останні роки річний пробіг на вулицях і дорогах урбанізованих територій складає близько 60 % від всього сумарного пробігу в країні. Для порівняння в 1960 р. частка урбанізованих територій в пробігу становила 44 %. Іншою особливістю динаміки є те, що темпи зростання інтенсивності руху перевищують темпи зростання автомобільного парку [54]. Пояснюють таку тенденцію зростання рухливості населення і безперервно збільшувана частка легкового автомобільного транспорту в пасажирських перевезеннях.

Ще три десятиліття тому основна увага приділялася поліпшенню умов руху автомобільного транспорту (збільшення пропускної здатності ВДМ, підвищенню швидкості повідомлення) і чисто технічним аспектам вирішення цього завдання.

Такий підхід призвів до надмірних витрат на дорожню інфраструктуру і занепаду громадського транспорту. Так, за оцінками [55] в містах та агломераціях Західної Європи частка вулиць і доріг в межах забудови досягла 25 %, а в США – 30 %. У сучасних зарубіжних роботах з проблем розвитку транспортних систем міст, ВДМ часто посилаються на офіційний документ "Дорожній рух в містах", опублікований у Великобританії 1963 р. Автор звіту Colin Buchanan сформулював концепцію ємності навколишнього середовища (environmental capacity), яка, на його думку, визначає екологічні обмеження на розвиток міського середовища і транспортних систем міст зокрема. До числа заслуг автора відносять "концепцію концентрації", згідно з якою транспортні потоки повинні концентруватися на головних магістральних вулицях. Його ідея формування міського ландшафту шляхом поділу міських територій на зони заспокоєння руху і зони, вільні для транспорту (traffic calmed and traffic-free zones), визначила наступні тенденції проектування ВДМ. За останні роки погляди на цілі і методи ОДР зазнали

революційні зміни. Головними проблемами визнані надмірна залежність населення від індивідуального автомобіля, перевантаженість міст і особливо їх центрів автомобільним транспортом [54]. Термін "залежність населення від індивідуального автомобіля" (Automobile Dependency) [55] отримав наступне визначення: залежність від автомобіля - сумарний ефект ряду факторів, що призводить до високого рівня використання автомобіля і обмежує можливості використання альтернативних видів транспорту. Є й інше визначення: транспортна система і організація території, орієнтовані на використання автомобіля (automobile oriented transportation and land use patterns). Протягом останніх десятиліть здійснюється міжнародна координація в галузі транспорту, автомобільних доріг і містобудування. Найбільшою міжнародною організацією, яка проводить таку координацію, є Світова дорожня асоціація (PIARC). Питання розвитку дорожньої інфраструктури, транспортних систем міст систематично розглядаються в документах профільних комітетів PIARC. Методичні документи PIARC останніх років виділяють такі найважливіші напрямки розвитку ОДР [54]: зниження інтенсивності руху автомобілів в центрах міст; пріоритет громадського пасажирського транспорту і автомобілів, що використовуються декількома пасажирами (HOV — high occupancy vehicles); регламентація паркування; взаємодія між вулично-дорожньої мережею і міським середовищем. Аналогічні пріоритети в області ОДР сформульовані в спеціальних документах Інституту транспортних інженерів США (ITE), присвячених проблемам перевантаження дорожньої мережі [6]. В даний час використовується широкий спектр заходів [65-59], покликаних знижувати навантаження на ВДМ і інтенсивність руху в міських центрах і збільшити привабливість громадського пасажирського транспорту (див. табл. 8.1), починаючи з містобудівного та технічного проектування і закінчуючи адміністративною діяльністю муніципалітетів. Характерна тісна інтеграція ОДР з іншими видами транспортного і містобудівного проектування. Обов'язковим елементом проектів ОДР є оцінка їх впливу на міське середовище, оцінка екологічного та соціального ефектів. Безпосередньо до компетенції ОДР (табл. 8.1) можна віднести: обмеження руху важких автомобілів, регламентування паркування, обмеження швидкості руху, забезпечення пріоритету громадського

пасажирського транспорту засобами регулювання. У пошуку рішень щодо зниження інтенсивності руху було привернуто увагу на ряд особливостей використання індивідуального автомобіля.

Таблиця 8.1 – Заходи щодо зниження інтенсивності руху автомобільного транспорту

Вид заходів	Спосіб реалізації
Координація міського та транспортного планування	Планування міських територій, що знижує потребу у використанні транспорту
Інвестиції в транспортні системи	Будівництво обходів міських центрів
	Розвиток систем громадського транспорту
Більш ефективне використання користування існуючих транспортних систем	Зниження інтенсивності в пікові години
	Автоматизовані системи регулювання
	Спільне (колективне) використання легкового автомобільного транспорту
	Пріоритет автобусного руху
	Обмеження на рух важкого вантажного транспорту
Удосконалення систем громадського транспорту	Підвищення якості обслуговування громадським транспортом
	Стимулювання користування громадським транспортом власниками індивідуальних автомобілів
Створення обмежень для руху автомобільного транспорту	Управління рухом транспортних потоків
	Зони, вільні від автомобільного транспорту
	Пріоритет громадського транспорту
	Обмеження пропускної спроможності
Обмеження паркування	Обмеження на вуличне паркування
	Регулювання правил паркування на територіях приватних володінь
	Організація паркування на підходах до міських центрів
Економічні та адміністративні методи	Плата за користування дорогами
	Плата за паркування
	Плата за можливість поїздки по території
	Адміністративні заборони і обмеження

В даний час поширений вид заходів ОДР – "заспокоєння руху" (traffic calming), що поєднує технічні та архітектурно-планувальні рішення.

Керування швидкісними режимами є дуже важливим інструментом забезпечення безпеки дорожнього руху. Серед основних результатів, що досягаються заспокоєнням руху, вказують [54, 56, 58, 61, 62]: зниження швидкості руху транспортних засобів; зниження кількості та тяжкості ДТП; забезпечення умов

для різних видів пересування (громадський транспорт, велосипед, пішки); зменшення транзитного руху автомобільного транспорту

Заспокоєння руху (traffic calming) досягається як змінами вуличної мережі, так і технічними заходами. Для цього вводять обмеження швидкості руху, що дозволяє різко зменшити кількість конфліктів між транспортом та пішоходами, та регламентують паркування. Слід особливо наголосити, що при проектуванні зон заспокоєння благоустрій вулиць та дизайн їхнього простору відіграють дуже важливу роль і розглядаються як засоби впливу на режим руху транспортних засобів. Загальна класифікація засобів заспокоєння руху приведена на рис. 8.1.

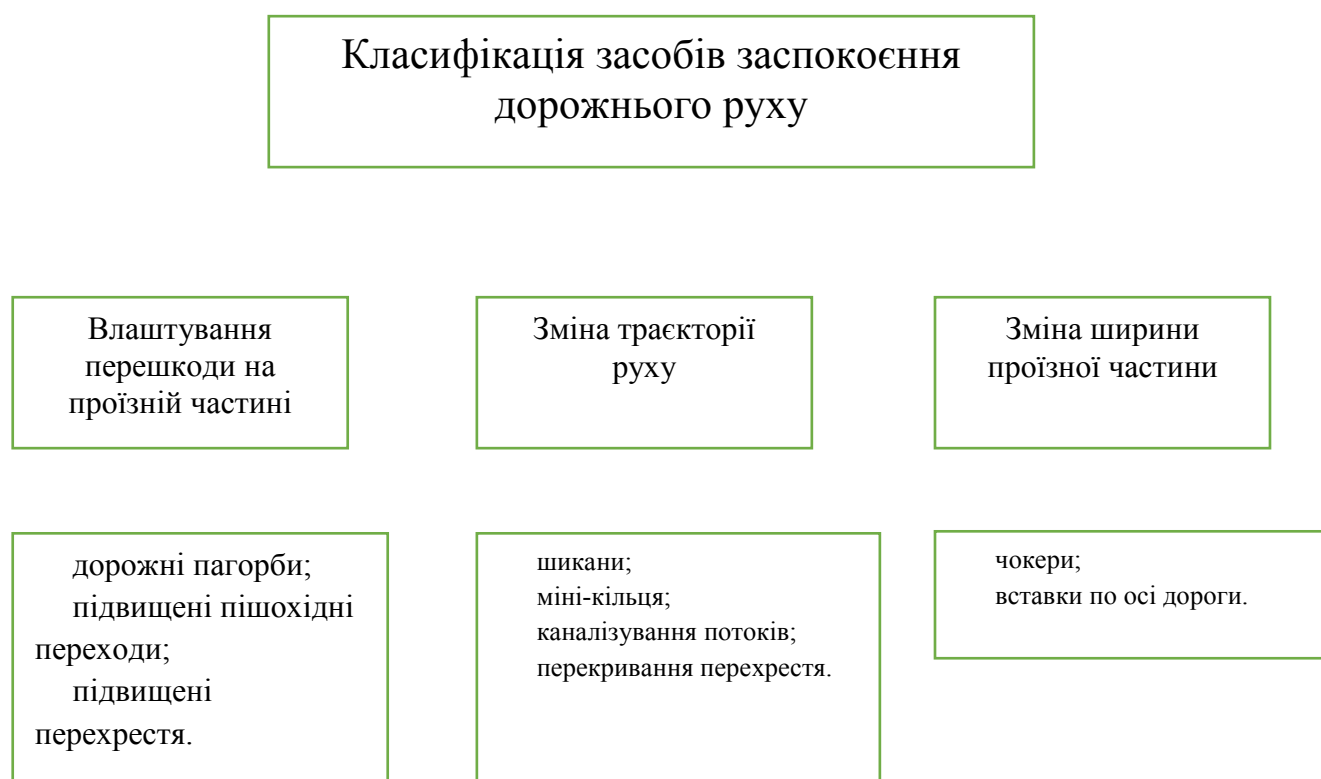


Рисунок 8.1 – Загальна класифікація засобів заспокоєння руху

Проведення експериментальних досліджень на магістралях реальної ВДМ для визначення впливу засобів заспокоєння руху на ефективність дорожнього руху, обмежено по ряду причин, основними з яких є високі витрати на реалізацію експерименту і, що особливо важливо, вимогами забезпечення безпеки ДР. Тому, для дослідження більш ефективно використовувати імітаційне моделювання.

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 пов'язаний з небезпекою для життя або він вимагає значних капіталовкладень.

Для визначення впливу засобів заспокоєння руху на ефективність дорожнього руху пропонується розробити імітаційну модель руху транспортних засобів на умовній ділянці вулично-дорожньої мережі в програмному забезпеченні PTV VISSIM, з використанням якої будуть визначені основні параметри руху транспортних засобів на обраному об'єкті. Імітаційну модель пропонується розробити для варіантів: підвищений пішохідний перехід та улаштування чокерів.

Послідовність побудови імітаційної моделі руху транспорту з використанням програмного продукту PTV VISSIM складається з етапів [63, 64], що представлені в табл. 8.2.

Слід відзначити, що результатом роботи імітаційної моделі є анімація руху транспорту у вигляді графіки в режимі реального часу і подальша видача транспортно-технічних параметрів, таких як, наприклад, розподіл часу в дорозі, транспортні затримки, довжина черги, час простою, кількість викидів шкідливих речовин, витрати палива, які можна диференціювати за групами користувачів.

Результати оцінки ефективності дорожнього руху на об'єкті дослідження з використанням програмного продукту PTV VISSIM представлені в табл. 8.3 та 8.4.

Результати імітаційного моделювання дозволили визначити, що при реконструкції пішохідного переходу відбувається незначне підвищення часових затримок транспортних засобів, емісії CO , емісії NO_x , емісії летючих органічних сполук та витрати палива. Наочно це можна побачити на рис. 8.2.

Щодо результатів імітаційного моделювання при улаштуванні чокеру, також відбувається незначне підвищення часових затримок транспортних засобів, емісії CO , емісії NO_x , емісії летючих органічних сполук та витрати палива. Наочно це можна побачити на рисунку 8.3.

Таблиця 8.2 – Загальний план побудови імітаційної моделі в VISSIM

Номер етапу	Назва етапу	Вид робіт
1	Побудова дорожньої мережі	Зображення відрізків доріг Зображення поворотів Організація зустрічного руху Створення смуг розгону і гальмування Нанесення дорожньої розмітки
2	Введення транспортного потоку	Завдання інтенсивності потоку Визначення складу транспортних засобів Завдання маршрутів транспортних засобів Введення правил пріоритету в конфліктних зонах
3	Моделювання руху пішоходів	Створення пішохідного потоку Визначення щільності і складу потоку Завдання маршрутів руху пішохідних потоків Розбір конфліктних зон Створення та встановлення світлофорних об'єктів
4	Моделювання руху громадського транспорту	Створення зупинок Завдання маршрутів громадського транспорту з зазначенням зупинок і розкладу
5	Аналіз роботи імітаційної моделі за обраними критеріями	—

Таблиця 8.3 – Результати імітаційного моделювання

Варіант пішохідного переходу	Часові затримки ТЗ, с	Емісія CO, г	Емісія Nox, г	Емісія ЛОС, г	Витрати палива, л
підвищений пішохідний перехід	19,006153	306,96	59,7226	71,14015	4,391367
в одному рівні з	16,20707	268	52,1421	62,11045	3,833978

проїзною частиною					
-------------------	--	--	--	--	--

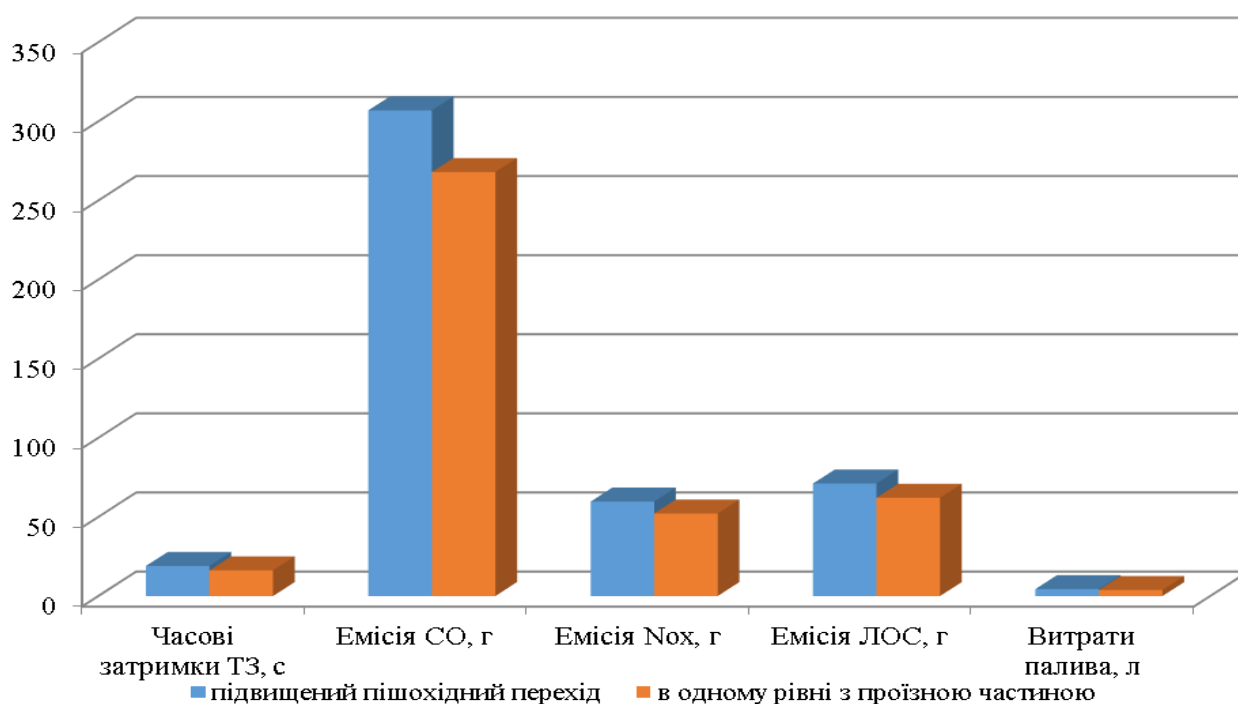


Рисунок 8.2 – Гістограма порівняння різних варіантів пішохідного переходу

Таблиця 8.4 – Результати імітаційного моделювання

Варіант схеми ділянки	Часові затримки ТЗ, с	Емісія CO, г	Емісія Nox, г	Емісія ЛОС, г	Витрати палива, л
з чокером	20	376,73	73,299	87,312	5,39
без чокеру	18,64	335,71	65,317	77,803	4,803

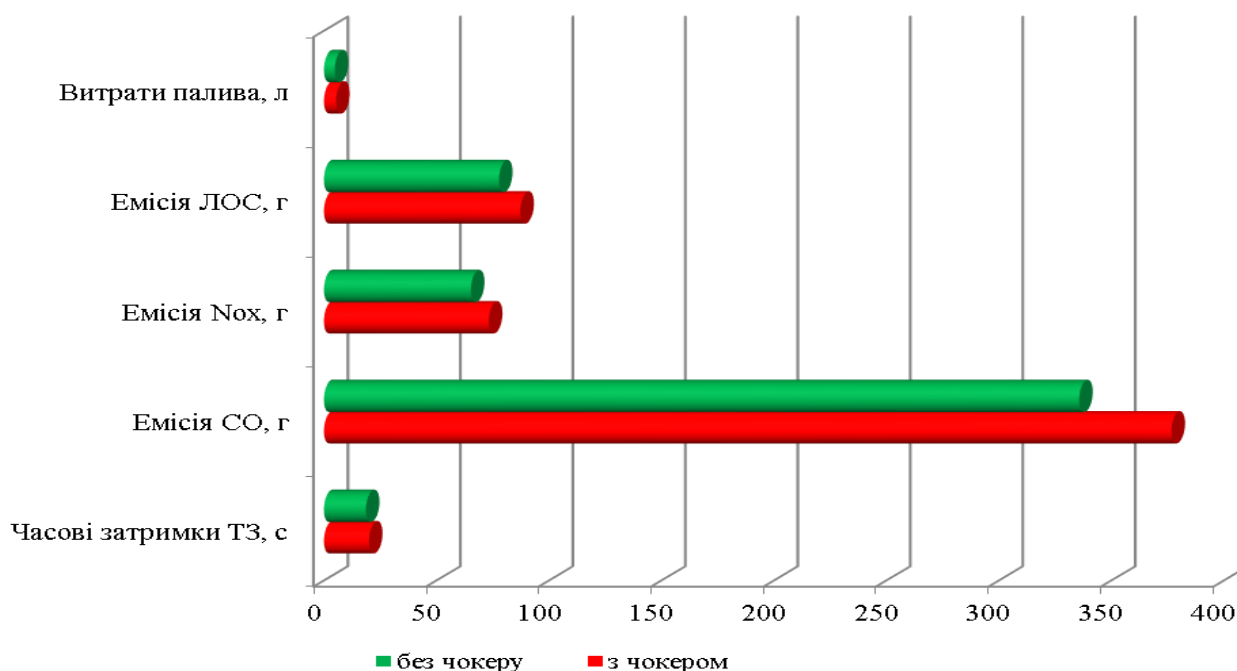


Рисунок 8.3 – Гістограма порівняння варіантів з/без чоkerу

Засоби заспокоєння руху є ефективним доповненням до обмежень швидкості, встановлених за допомогою технічних засобів регулювання. Заспокоєння руху має на меті не стільки примус до руху з низькою швидкістю, скільки забезпечення рівномірності транспортних потоків для підвищення безпеки руху та пропускної здатності доріг та вулиць.

Сучасні програмні продукти імітаційного моделювання дорожнього руху є потужним і необхідним інструментом оцінки та розробки ефективних заходів з удосконалення функціонування вулично-дорожніх мереж міст в цілому, так і окремих їх елементів.

Використання розробленої в PTV VISSIM імітаційної моделі дорожнього руху при застосуванні засобів заспокоєння руху дозволяє зробити обґрунтовані висновки щодо їх впливу на ефективність дорожнього руху. Отримані результати імітаційного моделювання на підставі порівняльного аналізу соціальних та економічних критеріїв ефективності ДР стверджують, що реалізація прийнятих заходів є не зовсім доцільним та дієвим заходом для підвищення ефективності ДР, але з точки зору безпеки дорожнього руху застосування засобів заспокоєння дорожнього руху є досить дієвим.

9 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ «АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ДЕРЖАВНОГО ТА МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ – НАЦІОНАЛЬНІ ТА МІЖНАРОДНІ ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ»

Як правило, всі елементи транспортної системи, що взаємодіють між собою мають глибокі внутрішні зв'язки. Дані зв'язки не дозволяють поділити систему на незалежні складові та визначити характеристики, що змінюють фактори, які на них впливають. Складна система має нові властивості, які не присутні окремим її елементам. Складні системи характеризуються великою кількістю елементів, складною поведінкою або/та складною структурою потоків інформації [65]:

Загальні ознаки складної транспортної системи:

- 1) наявність алгоритму управління або мети;
- 2) взаємодія елементів системи із зовнішнім середовищем, що є джерелом зовнішніх збурень (зміна маршрутів транспортних перевезень, систематичні та несистематичні їх зміни, кліматичні та атмосферні впливи на дорожні умови та режими руху транспортних потоків);
- 3) підбір умов оптимального функціонування;
- 4) керування процесами на основі передачі, збору, прийому та обробки інформації;
- 5) управління системою зі зворотнім зв'язком.

Як правило, складові частини складної системи це функція, схема, координати та інформація.

Схема відповідає за відображення побудови підсистем управління и повинна складатися з елементів, що включають усі споруди мережі автомобільних доріг, автомобільні дороги та всі організації схеми управління.

Між елементами схеми існують зв'язки, які забезпечують зворотний вплив на стан та переробку інформації для того, щоб визначити й спрямувати режим його роботи.

У системі існує схема визначення взаємного зв'язку елементів мережі доріг,

що забезпечують рух транспортних потоків і потреб транспортних потоків при використанні автомобільних доріг для перевезень (рис. 9.1).

Керування системою здійснюється з використанням інформацією даних про обробку та передачу елементів функціонування. Координати характеризують стан транспортної системи, параметри режимів руху (швидкість, об'єм руху та ін.) і параметри елементів (стан та тип покриття проїзної частини, пропускна здатність тощо).

Отримуючи дані про координати, керуюча система може у відповідності зі своїми функціональними властивостями впливати сама на себе та за допомогою пристроїв самокеруватися. У випадку проектування самоврядної системи виникає потреба алгоритмізації, тобто, математичний опис, який за схемою інформації та відповідних координат знаходить характеристику транспортної системи. Для визначення параметрів математичного опису процесів та елементів системи, необхідним є проведення експериментів методами за допомогою імітаційного моделювання.

Функціонування та утворення складної транспортної системи поділяється на пов'язані між собою частини, тобто на експлуатацію та проектування та [65]. Виходячи з економічно-технічних обґрунтованих понять, при проектуванні системи, потрібно визначити оптимальну схему зв'язків проєктованій системі, категорію автомобільних доріг, врахувати усі фактори вартості доріг, та вартість перевезень, встановити вплив мережі автомобільних доріг на окремі галузі економіки. Також потрібно зважити всі конкуруючі варіанти з метою знаходження оптимального варіанту створення транспортної системи з урахуванням розвитку країни у часі. Повинен передбачати побудову системи той алгоритм, що буде індексувати великий об'єм кількості можливих рішень при оптимізації та знаходження найкращого варіанту.

На стадії експлуатації системи при оцінці вартості утримання автомобільних доріг задаються визначені елементи – якість дорожнього покриття, споруди, режими руху, дороги, з'їзди, профіль і план дороги.

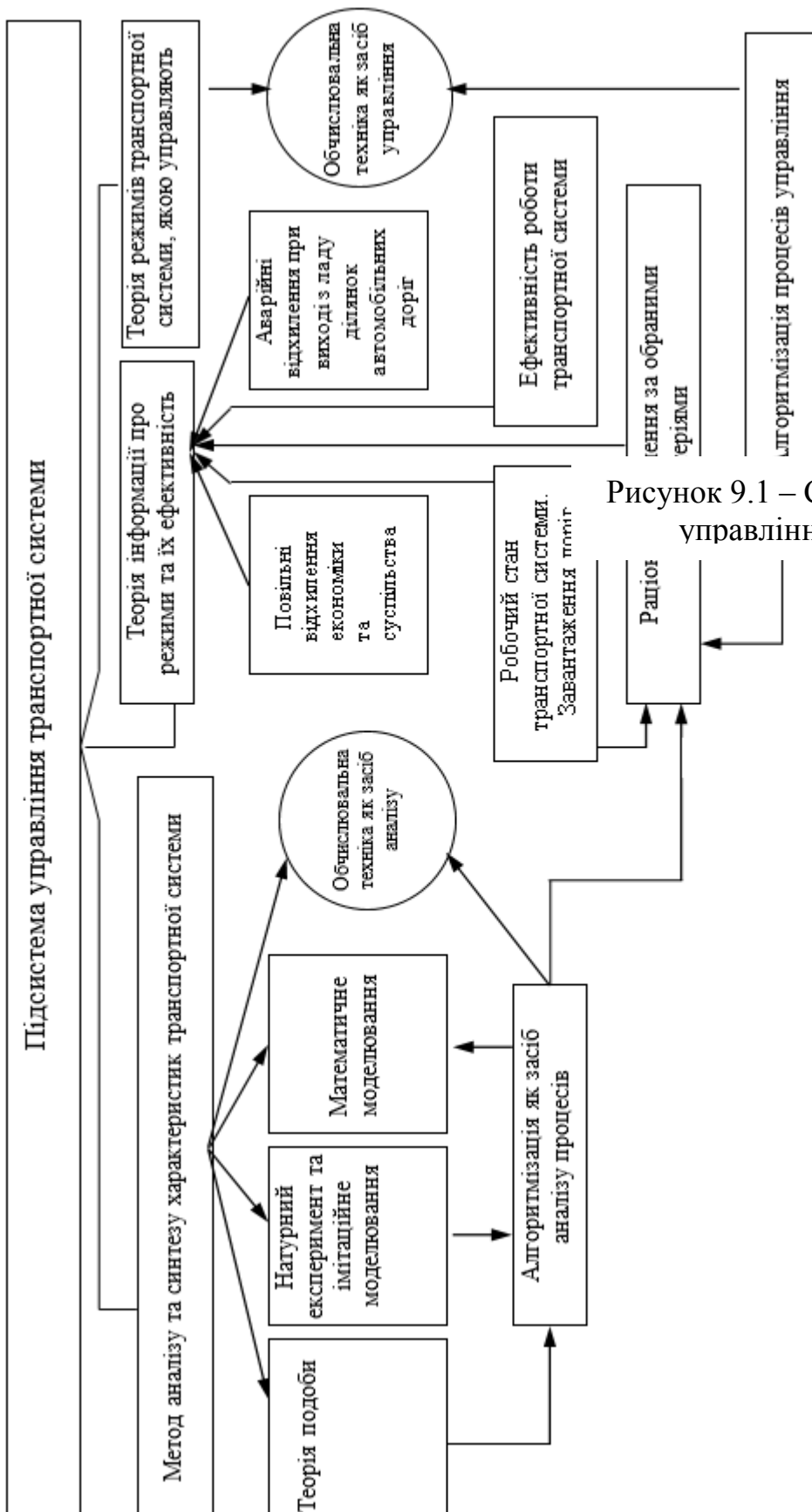


Рисунок 9.1 – Структурна схема підсистеми управління транспортної системи

Взаємодія автомобілів між собою і з автомобільною дорогою у транспортному потоці, збільшується із зростанням характеристик дороги та інтенсивності руху, залежить від вибору маршруту та певних обмежень швидкості руху [68]. Водій вимушений здійснювати маневри згідно з Правилами дорожнього руху, стежити за безпекою свого руху і обирати швидкість руху, стежити за вказівками дорожніх знаків та пристроїв регулювання дорожнього руху, та взаємодіяти із дорожньо-транспортною обстановкою.

Циклічність, періодичні зміни та інтенсивність руху мережі автомобільних доріг визначаються потребами і розвитком суспільства, і не залежать від завдань, які постають перед власниками транспортних засобів та транспортними організаціями. Отже, із загального процесу перевезень автомобільним транспортом можливо виділити певний виробничий процес, а саме рух міжнародних та національних транспортних потоків автомобільними дорогами місцевого та державного значення.

Постановка задачі оптимального управління транспортною системою характеризує цю систему, як керований об'єкт. Саме дорога та її засоби визначають режим руху потоків та поведінку водіїв в процесі руху.

Проста система «автомобіль – водій – дорога» є первинним елементом транспортної системи. Зворотній зв'язок транспортної системи «дорога – водій» проходить через психіку та органи почуттів водія. Керуючий орган – водій, який отримує і обробляє дані про умови руху автомобіля з використанням для цього прямого зв'язку «водій – автомобіль». Зі зростанням щільності та інтенсивності руху, збільшується число відокремлених систем «автомобіль – водій – дорога» та розташовується на певній ділянці дороги.

Характер прояву зв'язків кожної окремої системи є індивідуальним, оскільки, залежить від особливостей водіїв та типу автомобіля.

Система «автомобіль – водій – дорога» є управляючою, це обумовлено тим, що вплив на процеси в даній системі можуть здійснюватися за допомогою людини, але від зростання інтенсивності або щільності руху, можливості водія все більше обмежуються. Можливості водіїв та їх обмеження характеризується відсутністю

прямого зв'язку між водієм і дорогою, оскільки водій не може регулювати умови руху [66].

Заради певних цілей окремі автомобілі приєднуються до загального потоку руху. Водій в даній дорожній обстановці керується не тільки метою поїздки, а ще часом, відстанню та безпекою руху. Таким чином, автомобілі утворюють єдиний транспортний потік, який рухається у визначених дорожніх умовах, а окремі частини системи, що утворилася, взаємодіють згідно з властивими цій системі законами. Крім того, оптимізацію функціонування системи можна здійснювати за швидкістю руху транспортного потоку, що є одночасно і можливим критерієм оптимальності та однією з найважливіших характеристик транспортних потоків, тому що для користувачів доріг вона визначає час їхнього перебування у дорозі та зручність дорожнього руху (див. стрілку від елемента «розподіл швидкостей і середня швидкість потоку» до групи «критерії оптимізації»).

З метою створення раціональних мереж автомобільних доріг є доцільним будівництво окремих доріг, тобто відокремлених ділянок мережі. Оскільки, раціональні мережі автомобільних доріг включають оцінку майбутньої інтенсивності руху та його складу. Проектувальник, згідно прогнозу інтенсивності руху та типу автомобільних доріг, встановлює категорію дороги, та відповідні норми на проектування [67, 68].

У процесі проектування встановлюють геометричні елементи дороги, тип і конструкцію дорожнього покриття, облаштування та вартість дороги вартість. З метою визначення ефективності функціонування системи необхідна інформація вартості експлуатації і реконструкції дороги також про майбутній транспортний попит користувачів даної автомобільної дороги, що в даний час використовується в якості вагових показників.

В основному, питання організації та безпеки руху на автомобільних дорогах вирішуються шляхом прогнозування окремих показників, на основі спостережень і наукових досліджень. На підставі прогнозування пропонуються конкретні рекомендації організаційного, конструктивного та іншого характеру. Прогноз зміни показників системи надає можливість обрати рекомендації та заходи, реалізація

яких приведе або наблизить показники до оптимального функціонування системи та встановлення обмежень.

Оптимізація експлуатації системи на її стадії може бути досягнута за рахунок удосконалення дорожніх умов у процесі утримання та ремонту доріг, а також за рахунок організації руху транспортних потоків шляхом управління ними. Дорожні знаки та розмітка, регулюючі пристрої та раціонально продумане облаштування використовуються в якості керування транспортними потоками. На даний час, не має збору та аналізу інформації про продуктивність доріг (дані про швидкість руху тощо). Таким чином, виникає необхідність оптимізувати управління транспортною системою регіону із визначенням певних критеріїв управління.

10 ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІДГОТОВКИ ВОДІЇВ

В сучасних умовах формування безпеки дорожнього руху визначальну роль грає рівень підготовки водія, з урахуванням загальносвітових тенденцій зростання аварійності, 80 % дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) із вини водія. Зазначений відсоток розкриває безсумнівну актуальність рішення науково-практичних задач пошуку шляхів удосконалення підготовки водіїв. Сучасні дослідження в підготовці водіїв автомобілів сконцентровані в рамках інженерної психології й ергономіки. Істотною науковою проблемою в дослідженні процесу навчання водіїв є розкриття процесу формування навичок водіння автомобіля в умовах мінливої дорожньо-транспортної ситуації. Існуючі дослідження вказують на те, що виникненню ДТП з вини водія передують специфічна дорожньо-транспортна ситуація, що найчастіше певним чином зв'язана з виникненням у водія стресу та перешкоджає адекватній оцінці зазначеної ситуації. У зазначених умовах вказані ситуації неминуче переростають у ДТП. Тому виникає необхідність у вирішенні задачі з удосконалення майстерності водіння і відпрацюванню вправ із контраварійної підготовки [69] до автоматизму, а також у розробці відповідних методик і апаратних засобів для навчання.

Навчання прийомам водійської майстерності становить найбільш важливу частину системи контраварійної підготовки водіїв [70,71]. В основу методики закладений комплекс спеціальних вправ, який не має світових аналогів, де передбачають, зокрема, навчання в умовах, максимально наближених до критичних, з акцентом на розвиток творчих здібностей при забезпеченні гарантованої безпеки і динамічною оцінкою майстерності керування автомобілем. З метою економії експлуатації транспортних засобів і забезпечення безпечного навчання початківців водіїв, методика передбачає використання підготовки на тренажерах. Тренажерна підготовка є початковою стадією контраварійної підготовки, і призначена для

освоєння елементів, рухових дій і прийомів керування автомобілем, пов'язаних з проявом граничних можливостей водія за критеріями сили, швидкості, спритності і спеціальної витривалості.

Спосіб навчання та тренування на тренажері повинен передбачати достатню кількість повторень. Таким чином, одним з визначальних принципів тренажерної підготовки є принцип функціональної достатності-надмірності, проходження якого визначило систему тренувальних вправ на тренажерах [72].

Підвищенню рівня професійної підготовки водія присвячено багато наукових робіт таких вчених: В. П. Зінченко, В. М. Мунипов, Л. А. Вайнштейн, Є. С. Циганков та інших. Тренування на автомобільному тренажері є підготовчим процесом, який підпорядковується всім закономірностям педагогіки незалежно від конструкції тренажера і застосовуваних способів тренування. В основі всього циклу тренувань, а також окремих занять повинні лежати загальні педагогічні принципи. А саме: формування, перебудова і руйнування навичок, які підкоряються всім законам відтворення, зміни і гальмування умовних рефлексів. При утворенні умовних рефлексів в результаті багаторазового повторення діяльності нервові процеси складаються в певну систему, яка може дещо змінюватися під впливом різних умов і ситуацій. Таку систему академік І. П. Павлов назвав динамічним стереотипом. Відтворення динамічних стереотипів в корі великих півкуль є тим фізіологічним механізмом, на основі якого виробляються навички. Найбільш вивчений процес формування рухових навичок. У ньому розрізняють три етапи.

Перший етап складається з вивчення окремих елементів руху і об'єднання їх в одну цілісну дію. Цей етап характеризується наявністю зайвих, недоцільних рухів. Водій, який навчається в початковій стадії навчання надмірно напружений, сильно затискає рульове колесо, і часто робить короткі рухи кермом, різко і неточно переміщує важелі управління. Всі свої дії він контролює за допомогою зору.

На другому етапі в міру повторення вправи непотрібні, недоцільні рухи зникають, відбувається поступове формування динамічного стереотипу. Рухи водія, який навчається стають точнішими. Поступово слабшає зоровий контроль за виконанням дій і збільшується роль рухового контролю.

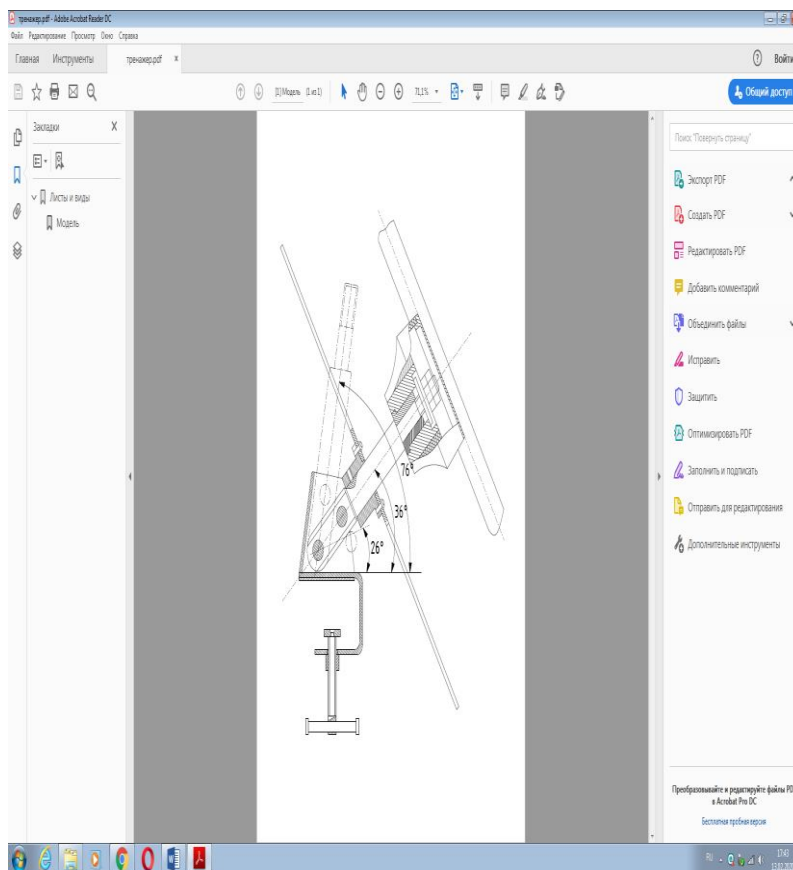
На третьому етапі динамічний стереотип сформований. Більшість дій виконується автоматично, тобто без участі свідомості, здійснюючи тільки функцію контролю. На цій стадії формування досвіду зазвичай вводять певні ускладнення з метою вироблення варіативності навички, наприклад, водій, якого навчають вдосконалюється в їзді по дорозі з високою інтенсивністю руху різних транспортних засобів. Опановувати навиком необхідно усвідомлено. Водій, який навчається повинен зрозуміти своє просування вперед, а майстер зобов'язаний допомогти йому аналізувати процес оволодіння навичкою.

На першому етапі, коли водій, який навчається, намагаються усвідомити кожен окремих рух або дію, тому необхідно допомогти їм розкласти той чи інший процес на складові його елементи і визначити їх зв'язок між собою. На третьому етапі, в період удосконалення навичок, педагогічний процес набуває особливо складний характер. Майстер повинен добре вивчити своєрідність помилок водіїв, які навчаються, і нові вправи складати з урахуванням колишніх помилок і індивідуальних особливостей тих, кого навчають.

Для підвищення якості роботи викладачів автошкіл доцільно використовувати спеціалізовані технічні засоби. Пропонується тренажерний клас, до складу якого входять настільні тренажери (наприклад, 20 одиниць) і один підлоговий тренажер.

Тренажерний клас призначений для відпрацювання техніки швидкісного рулювання, із застосуванням комплексу спеціальних вправ з контраварійної підготовки [70,71], а також тестування набутих навичок.

Таким чином, до складу тренажерного класу включені 20 настільних рульових пристроїв (настільних тренажерів – за кількістю майбутніх водіїв), які кріпляться на навчальних столах за допомогою струбцинок з можливістю зміни кута нахилу рульового валу та зміни рульового колеса, згідно імітованої марки автомобіля (рис. 10.1). Кожен пристрій, для полегшення виконання вправ з контраварійної підготовки, згідно методики, забезпечено візирним диском, на якому нанесена годинникова розмітка і кутова розмітка від 0 до 360 градусів.



1 – рульовий вал; 2 – візирний диск; 3 – знімне рульове колесо.

Положення рульового валу: 26° – легкові автомобілі; 36° – вантажні автомобілі; 76° – автобуси

Рисунок 10.1 – Настільний тренажер:

Один підлоговий тренажер (рис. 10.2) з робочим місцем водія, сидіння якого регулюється по горизонталі і вертикалі, для формування оптимальної робочої пози. Рульове колесо знімне і може змінюватися, під відповідну модель автомобіля, яка імітується, з наступним регулюванням кута нахилу рульової колонки і фіксації за допомогою фіксатора.

Основні конструктивні елементи тренажеру наступні: педалі, датчик повороту рульової колонки, фотоелектричний датчик кута повороту рульового колеса (кутомір), варіатор з електродвигуном навантажувального пристрою (рис. 10.3), а також представлено зовнішній вид електронних блоків обробки інформації (рис. 10.4) і навантажувального пристрою (рис. 10.5). Автотренажер призначений

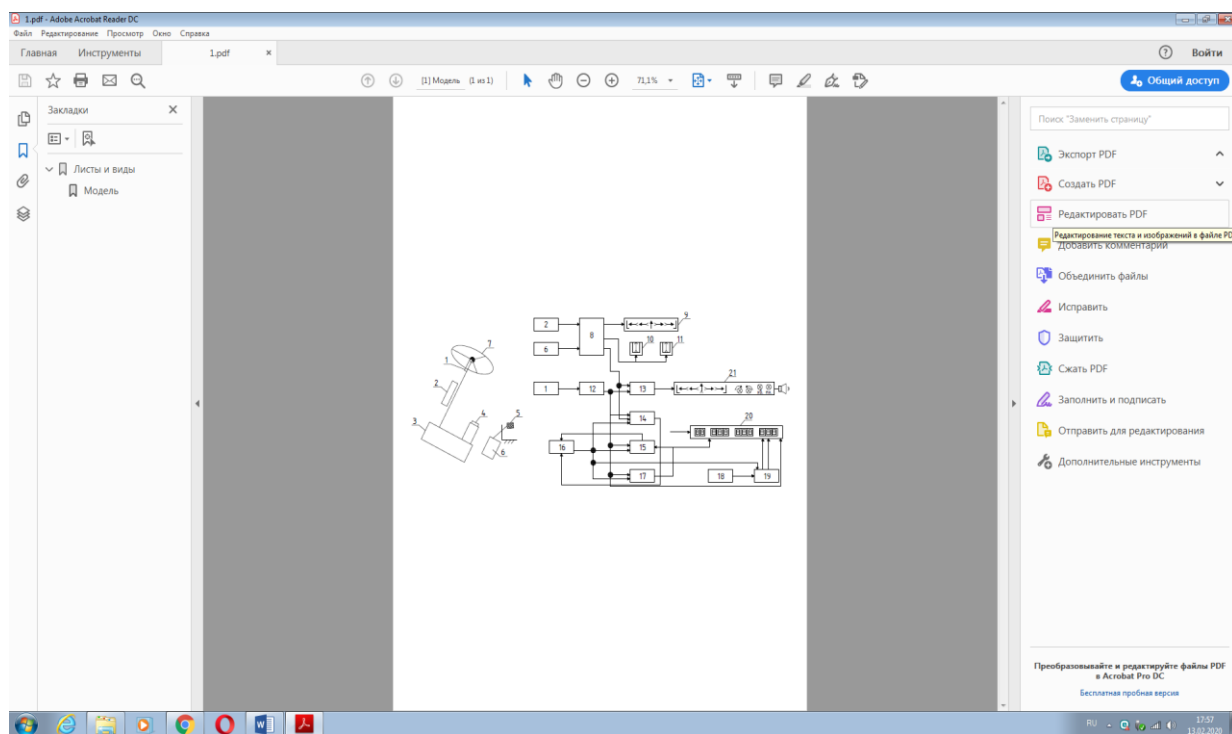
для тестування набутих навичок в процесі навчання майбутніх водіїв на настільних тренажерах.



Рисунок 10.2 – Вид підлогового тренажера

Заняття у тренажерному класі проводять відповідно до типового навчального плану для автошкол за методикою контраварійної підготовки [69-71].

Згідно з методикою [71], на початку і в кінці кожного заняття проводити тестування, з метою визначення ефективності занять і рівня досягнутої майстерності. Тестування проводиться на базі підлогового тренажера (рис. 10.2). Індивідуально «підганяється» робоче місце для правильної посадки майбутніх водіїв. Рульовий вал встановлюється в положення, яке імітує певну марку автомобіля, і фіксується. Рульове колесо обертається на валу вільно (шпонка не встановлена) і не має обмежувачів кута повороту.



1 – датчик цифрового відліку (кутомір); 2 – датчик повороту рульової колонки; 3 – варіатор; 4 – електродвигун; 5 – блок педалей; 6 – датчик положення педалей; 7 – рульове колесо; 8 – перетворювач аналоговий; 9 - світлове табло; 10 - показчик положення рульового колеса; 11 – показчик імітатора швидкості; 12 – кутомір цифровий (КЦ); 13 – блок управління сигнальним табло (БУСТ); 14 – цікломір; 15 – цифровий компаратор (ЦК); 16 - пристрій управління програмний (УПП); 17 – регістрова пам'ять; 18 - генератор стабільної частоти (ГСЧ); 19 - блок рахунковий (БР); 20 - блок динамічної індикації і цифрове табло: де 21 - сигнальне табло;  - обертання вправо (вліво);  - опорний кут зліва (справа);  - нейтральне положення рульового колеса;  - рульове колесо зліва (справа) від нейтралі.

Рисунок 10.3 – Функціональна електрична схема підлогового автотренажера для навчання та тестування з контраварійної підготовки:

Фотоелектричний датчик за допомогою роз'ємів і знімного електричного шнура пов'язаний з електронним блоком обробки інформації (рис. 10.5), де передбачено проведення тестування за такими програмами:

–код 000 – циклічне обертання рульового колеса на задане число напівциклів. Після виконання завдання можна отримати наступні дані: загальний час вправи; час обертання вправо; час обертання вліво та асиметрію правого і лівого обертання;

– код 010 – необмежене обертання в одну сторону на задане число обертів (наприклад, від 1-го до 250). Визначається: час обертання і – асиметрію лівого і правого обертання;

– код 020 – ривки. Визначаються: прискорення, а значить сила ривка і асиметрія для правої і лівої руки;

–код 030 – маятникові вправи, аналізуються по помилкам, що реєструються. Визначається координація рухів при різних навантаженнях.

Перелік програм може бути продовжений залежно від вирішуваних завдань.

Можливості управління апаратними засобами наступні:

- а) з кутоміром;
- б) без кутоміра;
- в) з дозованим навантаженням.

Для прикладу розглянемо робота з кутоміром.

1. Перемикач режимів S7 у віджатому стані. Кнопка «Введення» S3 включити. Натисканням кнопки S1 встановити в нуль лічильники: цікломіра (індикатори Н1, Н2) (рис.4); правого обертання – Н6, Н7, Н8; лівого обертання – Н9, Н10, Н11.

2. Натискаючи кнопки S2 встановити в нуль показники кутоміра – індикатори Н3, Н4, Н5 (Н5 постійно висвічує нуль, тому що дискретність 10 град.).

3. Поворотом рульового колеса в будь-яку сторону набрати на індикаторах кутоміра (Н3, Н4, Н5) код робочої програми:

- 000 – циклічне обертання;
- 010 – обертання в одну сторону;
- 020 – ривки;
- 030 – маятникові вправи.

Натисканням кнопки S7 відкрити ячейку пам'яті для програм і, утримуючи її в натиснутому положенні, за допомогою кнопки S3 «Введення» ввести набраний на індикаторі кутоміра код програми в пам'ять.

4. Повернути рульове колесо на довільний кут, натисненням кнопки S6 контролюють правильність коду введеної програми. Номер записаної програми при цьому повинен висвітлитися на індикаторі кутоміра (Н3, Н4, Н5).

5. Повернувши рульове колесо на величину, яка задається в програмі кута (кут «крайнього» положення рульового колеса), вводимо його величину в ячейку пам'яті (опорний кут). Для цього необхідно, утримуючи кнопку S8 в натиснутому положенні (відкриваємо ячейку пам'яті), натиснути на кнопку S3 «Вхід».

6. Натиснути на кнопку S2 – встановлення нейтрального положення рульового колеса. При цьому рульове колесо необхідно встановити так, щоб стрілка на барабані показувала нейтральне положення (особливо при виконанні маятникових вправ).

Після натискання на кнопку S2 на індикаторах кутоміра буде 000. На індикаторах цікломера за допомогою кнопок S7, S8 набираємо необхідну кількість напівциклів (натискання кнопок для вибору програми виконує інструктор).

Пристрій готовий до роботи.

7. Робота тренажера за обраною програмою здійснюється після натискання на кнопку S4 «Пуск», після чого рульове колесо необхідно повернути на «стартову позицію» (опорний кут). Сигнал «старт», і пуск робочої програми відбудеться автоматично так само, як і «зупинка» після відпрацювання програми. На індикаторах Н6, Н7, Н8 відбувається накопичення часу правого обертання, або помилок з правого від нейтрального положення рульова колеса боку, а на Н9, Н10, Н11 – лівого обертання, або помилок з лівого від нейтрального положення рульова колеса боку.

8. При роботі з дозованими навантаженнями перемикач S7 (рис.10.5) переводять в натискання стан і роблять введення коду програми циклічного рулювання в ячейку пам'яті. Кутомір в цьому режимі не функціонує, тому що його датчик відключений.

При введенні програми 030 гасне індикація «сек» І відбувається накопичення помилок, наприклад, на маятникових вправах. Помилки диференційовані на ОШ1 і ОШ2.

ОШ1 – кут повороту рульового колеса більше опорного кута на неприпустиму величину ($> 30^\circ$).

ОШ2 – кут повороту рульового колеса менше величини опорного кута при «перекиданні» рульового колеса на зворотний рух.

Отже, застосовуючи в процесі тренування на автомобільному тренажері описані вище педагогічні принципи, інструктор отримає найбільший ефект від тренування. Навчання і тренування слід розглядати як єдиний нерозривний процес. Разом з тим вони не є тотожними за своїми завданнями і методами: завдання навчання – головним чином оволодіння необхідними знаннями та оволодіння практичними навичками, завдання тренування – закріплення і подальше вдосконалення навичок [73].

З метою усунення помилок в техніці керування автомобілем, та удосконалення майстерності водіння автомобіля в автошколах повинні використовуватися на практиці спеціалізовані технічні засоби і методи підготовки водіїв, що значно підвищить безпеку руху на дорогах нашої країни.

11 МЕТОДИ ФІКСАЦІЇ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ВУЛИЦЯХ ТА ДОРОГАХ ПРИ ПРОВЕДЕННІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

11.1 Основні аспекти проблеми вимірювання фактичної швидкості транспортних засобів

Управління швидкісним режимом руху транспортних засобів залишається однією з найважливіших завдань, що стоять перед фахівцями, що працюють у сфері організації та безпеки дорожнього руху в усьому світі, і потребує використання обґрунтованих і комплексних заходів. Дані про розподіл швидкостей на ділянках вулиць та доріг є обов'язковою складовою в системах моніторингу та управління дорожнім рухом. Важливим фактором є те, що, на відміну від інших складових, швидкість руху автомобіля є фізичною величиною, а не умовним параметром моделі транспортного потоку, тому вона може бути безпосередньо об'єктивно встановлена шляхом фізичного вимірювання з використанням спеціальних приладів. До того ж, швидкість – єдиний параметр транспортного потоку, що може сприйматися водієм в процесі керування транспортним засобом.

Наявність достовірної інформації про реальний швидкісний режим на ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міст та автомобільних доріг також є необхідною умовою для ефективного управління безпекою дорожнього руху. Різноманітні системи та технології вимірювання швидкості широко застосовуються для моніторингу та контролю дотримання водіями встановлених обмежень швидкості, багато з таких систем працюють в повністю автоматичному режимі.

Основні проблеми виміру фактичної швидкості руху автомобілів можуть включати різні аспекти даної проблеми. Серед основних можна виділити наступні:

а) точність вимірювальних приладів. Прилади вимірювання можуть мати обмежену точність і можливі похибки вимірювань. Це може спричинити неточні оцінки фактичної швидкості руху транспортних засобів;

б) вплив довкілля. Вимірювання фактичної швидкості руху може бути

утруднена різними факторами довкілля, такими як шум, вітер, дощ чи сніг. Ці фактори можуть спотворювати вимірювання та робити їх менш точними;

в) трафік та високий рівень завантаження доріг. На завантажених ділянках доріг швидкість руху може бути обмежена діями окремих учасників дорожнього руху, внаслідок виникнення заторових станів та іншими факторами, такими, до того ж на стан транспортного потоку можуть вплинути технічні засоби регулювання дорожнього руху. У таких умовах при вимірі фактичної швидкості постає завданням врахування впливу зовнішніх факторів;

г) обмеження системи вимірювання. Деякі системи вимірювання, такі як радар або GPS, можуть мати обмеження в точності та можливості отримати достовірні дані в деяких ситуаціях (наприклад, у гірських районах або за поганих погодних умов);

д) технічні несправності вимірювальних приладів. Несправності вимірювальних приладів, такі як проблеми з фіксацією корисного сигналу, можуть призвести до неточних вимірів фактичної швидкості руху;

е) людський фактор. Поведінка окремих водіїв під час руху, така як перевищення швидкості, недотримання правил дорожнього руху та дрифт, може впливати на інших учасників дорожнього руху та зробити результати вимірювання фактичної швидкості складнішим та непередбачуваним.

Для вирішення цих проблем потрібен безперервний розвиток та вдосконалення технологій вимірювання, а також удосконалення нормативних та правових рамок для забезпечення безпеки та точності вимірювання фактичної швидкості руху автомобілів.

Конкретне призначення системи вимірювання висуває специфічні вимоги до використовуваних методів та технічних засобів фіксації швидкості. Наприклад, в елементах систем моніторингу та управління дорожнім рухом зазвичай постає завдання якісної оцінки стану транспортного потоку на ділянках вулиць та доріг. Оскільки при цьому проводиться знеособлена масова фіксація швидкості транспортних засобів, може використовуватися широка номенклатура детекторів

транспорту, заснованих на різних фізичних принципах. При цьому зазвичай не висувається високих вимог до точності кожного окремого виміру.

При контролі дотримання швидкісного режиму, навпаки, однією з основних вимог виступає точність фіксації швидкості окремого транспортного засобу з його обов'язковою ідентифікацією. В системах автоматичного контролю при цьому широко використовуються технології аналізу відеообразів.

Окремою проблемою є вимірювання фактичної швидкості транспортних засобів при проведенні наукових досліджень, перш за все, через специфічні вимоги до вартості, трудомісткості та точності експерименту. Досліднику важливо враховувати переваги та недоліки існуючих технологій отримання даних, щоб обрати найбільш ефективні з них, з урахуванням наявних ресурсів, часу та потрібної точності результатів вимірювання.

11.2 Аналіз літературних джерел з проблеми дослідження

В опублікованих наукових роботах можна побачити значне різноманіття методів дослідження фактичних швидкостей транспортних засобів, що відрізняються як пристроями фіксації швидкості, так і технологією обробки даних. При проведенні наукових досліджень в окремих випадках можуть використовуватися дані систем моніторингу або контролю дорожнього руху, але в більшості випадків вчені мають справу з разовими вимірюваннями на спеціально обраних ділянках вулиць та доріг, які проводяться невеликим колективом дослідників.

В цілому, за результатами огляду публікацій, в яких наводилися чи аналізувалися методики вимірювання фактичних швидкостей руху транспортних засобів на ділянках вулиць та доріг в рамках наукових досліджень, їх можна умовно розділити на три групи (рис. 11.1).

Класичний способом вимірювання швидкості (метод секундоміру) полягає у фіксації часу, за який транспортний засіб проїжджає заздалегідь виміряний на ділянці дороги мірний відрізок. Хоча такий метод через свою порівняно невисоку

точність майже не зустрічається в сучасних наукових публікаціях, від може використовуватися для проведення спрощених досліджень, наприклад, для перевірки певної гіпотези [74].

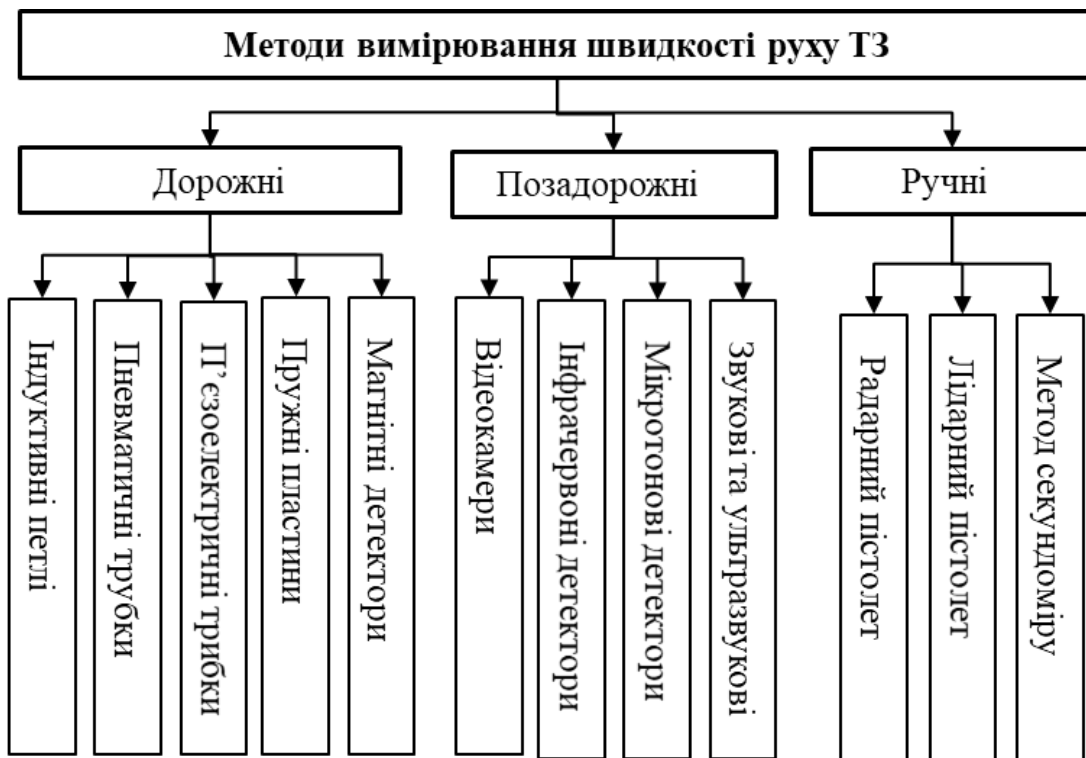


Рисунок 11.1 - Класифікація методів вимірювання фактичної швидкості транспортних засобів

Вимірювання швидкості транспортних засобів з використанням портативних лідарних або радарних детекторів (пістолетів) знайшли широке використання при проведенні наукових досліджень [75, 76]. Вартість таких пристроїв є відносно невисокою, особливо пристроїв радарного типу, а використання є простим та зручним. Пряма фіксація миттєвої швидкості автомобіля усуває потребу у подальшій обробці даних. Разом з тим, певні недоліки певні недоліки даних методів можуть вплинути на трудомісткість та ефективність масштабних досліджень швидкісного режиму. І лідарні, і радарні детектори є ручними пристроями, тому вони вимагають прямої видимості до автомобіля, що наближається, для отримання точних вимірів. Також ці прибори схильні вносити у виміри ефекти косинусної

помилки. На показання лідарних і радарних приборів можуть впливати умови довкілля, щільність руху, відстань автомобіля від пристрою, які неможливо точно контролювати.

Ще складнішим завданням є те, що лідарні і радарні системи не можуть ефективно фіксувати швидкість декількох транспортних засобів, що рухаються поруч та вимірювати швидкість нижче певних меж. Так, у роботі [77] автори вказали на обмеження описаних методів, яке полягає в тому, що вони не можуть ефективно враховувати дані про декілька транспортних засобів, що рухаються по різних смугах. Отже, ручні прилади для виміру швидкості надають обмежену інформацію про швидкості транспортних засобів.

Друга група методів, яку ми умовно назвали «дорожні» передбачає встановлення чутливих елементів безпосередньо на поверхні проїзної частини, тому їх можна вважати методами автоматизованого детектування транспорту (RealCount системи). Приклади успішного використання таких технологій наведені в роботах [78, 79]. До переваг таких методів можна віднести те, що фіксація швидкості відбувається безперервно в пасивному режимі, порівняльно невисоку вартість обладнання при високій точності та тривалості збору даних. Серед недоліків слід відзначити необхідність попереднього монтажу обладнання, що може представляти складність в умовах безперервного транспортного потоку та необхідність отримання попереднього дозволу. Також викають складнощі при використанні даних методів дослідження в складних дорожніх умовах та на дорогах без покриття, в процесі роботи може спостерігатися руйнування та зношування чутливих елементів шинами автомобілів. Через це, вказану групу методів доцільно використовувати при дослідженнях на великій вибірці транспортних засобів, або моніторингу швидкісних режимів на ділянках доріг протягом тривалого часу.

Наступна група методів заснована на використанні дистанційної фіксації руху транспортних засобів з використанням детекторів або відеокамер. Використання безконтактних детекторів дозволяє уникнути більшості недоліків, характерних для попередньої групи методів, але при цьому значно збільшується вартість обладнання. Останнього недоліку можна уникнути при використанні в якості фіксуючого

пристрою відеокамери, що дає змогу проводити зйомку руху транспортного потоку на будь-якій ділянці дороги. При обробці відеозапису вимірювання швидкості руху транспортних засобів проводиться непрямим методом, оскільки швидкість визначається як відношення довжини пройденого шляху до витраченого на його проходження часу. Час проходження ділянки визначається як різниця часів фіксації автомобіля на вході та виході в певному перерізі дорogi, тому використання даного методу потребує позначення на ділянці дороги мірної ділянки певної довжини, або проведення точних вимірів відстані між характерними перетинами дороги.

Значним недоліком методики дослідження швидкості шляхом аналізу відеозапису є досить трудомісткий процес обробки даних. Уникнути вказаних недоліків можливо шляхом автоматизації обробки відеозапису, з використанням спеціального програмного забезпечення. Аналогічні технології використовуються в стаціонарних системах моніторингу дорожнього руху та контролю швидкості [80]. Одним з важливих аспектів автоматизованої обробки даних відеоспостереження є калібрування камери, оскільки місце розташування транспортних засобів у відеозображеннях складає 2-D (розмірність), проте, транспортні засоби у реальному світі являються 3-D об'єктом [81].

Таким чином, обробка зображень при дослідженні швидкостей руху транспортних засобів за даними відеоспостережень є найбільш складним компонентом методики. Це зазвичай вимагає таких технічних дій, як витягання і видалення фону, виявлення транспортних засобів, що рухаються та їх локалізація, видалення тіні автомобіля, нанесення фільтру для корекції зображення [82].

В деяких роботах для виміру швидкості на основі відео аналізують послідовні відеокадри, щоб відстежити транспортний засіб і таким чином виміряти його швидкість [80]. Послідовними етапами при цьому є: локалізація кадрів зображення, виявлення транспортного засобу, що рухається, міжкадрове стеження за транспортним засобом. Також зустрічаються роботи, де для автоматичної обробки відеозапису використовується стороннє програмне забезпечення, яке розпізнає транспортний засіб, що потрапив у поле зору відеокамери та фіксує час його

перебування в зоні його розпізнавання [83]. Далі ці дані використовує програмне забезпечення, яке обчислює швидкість автомобіля.

Швидкість транспортного засобу також може вимірюватися на основі порівняння двох послідовних кадрів відеозапису та визначення зміщення транспортного засобу між послідовними кадрами [84, 85]. За величиною зміщення швидкість автомобіля визначалася на основі відомих розмірів об'єкту, до якого виконана прив'язка. При використанні даної технології зроблені звичайною відеокамерою зображення можуть виявитися надмірно розмитими, що завадить процедурі визначення зміщення пікселів, тому така система вимагає використання дорогих камер високої роздільної здатності.

В будь-якому разі, автоматизована обробка відеозапису для визначення швидкості руху автомобілів зазвичай вимагає використання спеціалізованого устаткування та спеціального програмного забезпечення, що значно збільшує вартість проведення досліджень. Тому такі технології доцільно застосовувати при масових дослідженнях або довгостроковому моніторингу зміни швидкості на певних ділянках доріг.

11.3 Розробка експериментальної методики вимірювання фактичної швидкості транспортних засобів за даними відеоспостереження

Для успішного планування та проведення експериментальних досліджень з вимірювання швидкості транспортних засобів в реальних умовах руху важливе значення має вибір раціональної методики, що базується на аналізі існуючого досвіду таких досліджень та врахуванні можливостей, переваг та недоліків різних методів. Якщо у разі проведення наукових досліджень виникає потреба у проведенні разових або повторюваних вимірювань на різних ділянках вулиць та доріг у умовах обмеженого часу або ресурсів, головною вимогою до методики вимірювання стає використання доступних технічних засобів, які не потребують тривалої підготовки експерименту та використання вузькоспеціальних знань в галузі вимірювальної техніки або комп'ютерних технологій.

Таким чином, є актуальним завдання з розробки та апробації різних методів проведення відповідних експериментальних досліджень, тому ціллю даної роботи було апробація спрощеної методики вимірювання швидкості руху транспортних засобів на ділянках ВДМ міста для отримання кривих розподілу швидкостей.

Вимірювання швидкості автомобіля на основі відеоспостереження на даний момент є одними з найбільш перспективним напрямком, що робить такі методики дуже привабливими при проведенні наукових досліджень. В даній роботі пропонується спрощена методика обробки відеозображення, яка не потребує спеціалізованих технічних засобів обробки кадрів. Джерелом відеоматеріалу для методики можуть бути відеокамери зовнішнього спостереження, доступ до яких є вільним. Такі камери встановлені на великій кількості ділянок ВДМ великих міст України та дозволяють цілодобово в безперервному режимі здійснювати моніторинг руху транспортних засобів.

Етапи заповнюваної методики дослідження швидкості транспортних засобів за даними відеозапису та використані при цьому інструментальне та програмне забезпечення наведено на рис. 11.2.

Зі схеми видно, що безпосередньо на ділянці вулиці виконується лише етап №3 та лише він потребує використання спеціальних вимірювальних пристроїв. Решта блоків робіт виконуються в умовах офісу, тому вони можуть бути поділені між різними виконавцями. Найбільш трудомістким є етап відстеження транспортних засобів в покадровому режимі, тому резерв майбутнього удосконалення наведеної методики полягає у автоматизації саме цього етапу.

Для перевірки можливості використання запропонованої методики для встановлення параметри швидкісного режиму на ділянках ВДМ міста були обрані дві ділянки на ВДМ міста Харкова. Спостереження проводилися з зовнішніх веб-камер міста, які ведуть трансляцію у безперервному режимі. Доступ до трансляцій здійснювався з ресурсу <https://uastreaming.net/webcam-online/europe/ukraine/kharkiv-area/>.

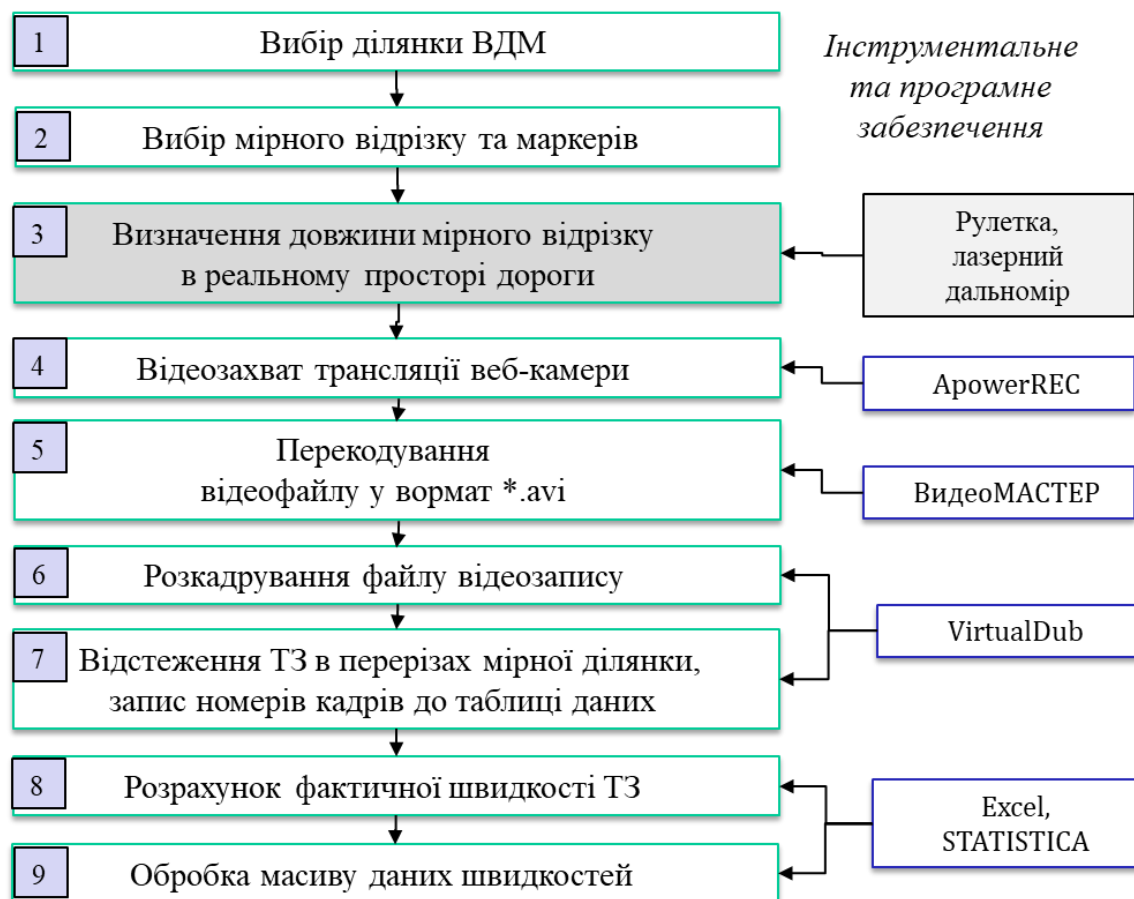


Рисунок 11.2 – Етапи дослідження та використане інструментальне та програмне забезпечення

11.4 Результати апробації методики

Для розрахунків швидкості руху за результатами обробки відеозапису слід визначати час проходження транспортними засобами мірної ділянки відомої довжини, тому необхідною умовою використання запропонованої методики є наявність мірного відрізка в просторі дороги з виміряною довжиною. Мірний відрізок виявляє собою два перерізи дороги, які можна прив'язати до деяких нерухомих стаціонарних об'єктів. Такими об'єктами можуть бути елементи дорожніх споруд, опори освітлення, технічні засоби регулювання руху, тощо. Вибрані маркери мають розташовуватись на приблизно однаковій відстані від краю проїжджої частини дороги. У якості маркерів, за можливості, доцільно обирати лінії дорожньої розмітки. Це дозволяє при обробці відеозображення нехтувати так

званою «похибкою перспективи», яка завжди має місце при розташуванні камери не перпендикулярно по відношенню до рухомого об'єкту. З тієї ж причини доцільно фіксувати момент перетину перерізу мірного відрізка саме колесом автомобіля.

На рис. 11.3, 11.4 наведено фрагменти відео для двох експериментальних ділянок із позначенням обраних орієнтирів, що позначають границі мірного відрізка.

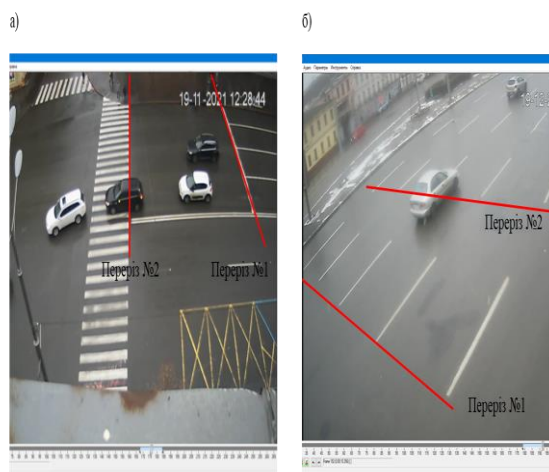


Рисунок 11.3 – Фрагменти відео із позначенням мірного відрізка для ділянки вул. Площа Конституції 7

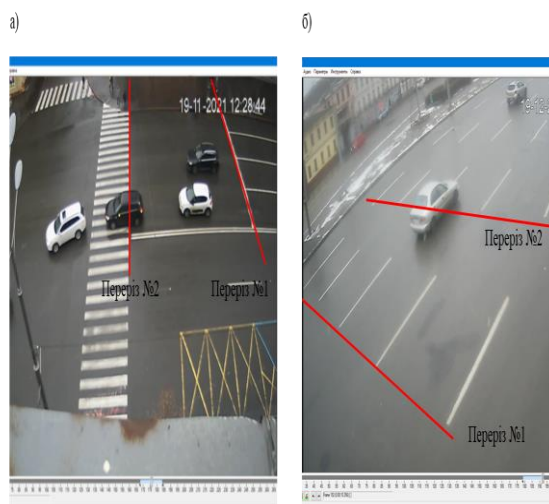


Рисунок 11.4 – Фрагменти відео із позначенням мірного відрізка для ділянки Проспект Героїв Харкова 256

Слід окремо зупинитися на етапі визначення реальної довжини мірного відрізка в просторі дороги (рис. 11.5).

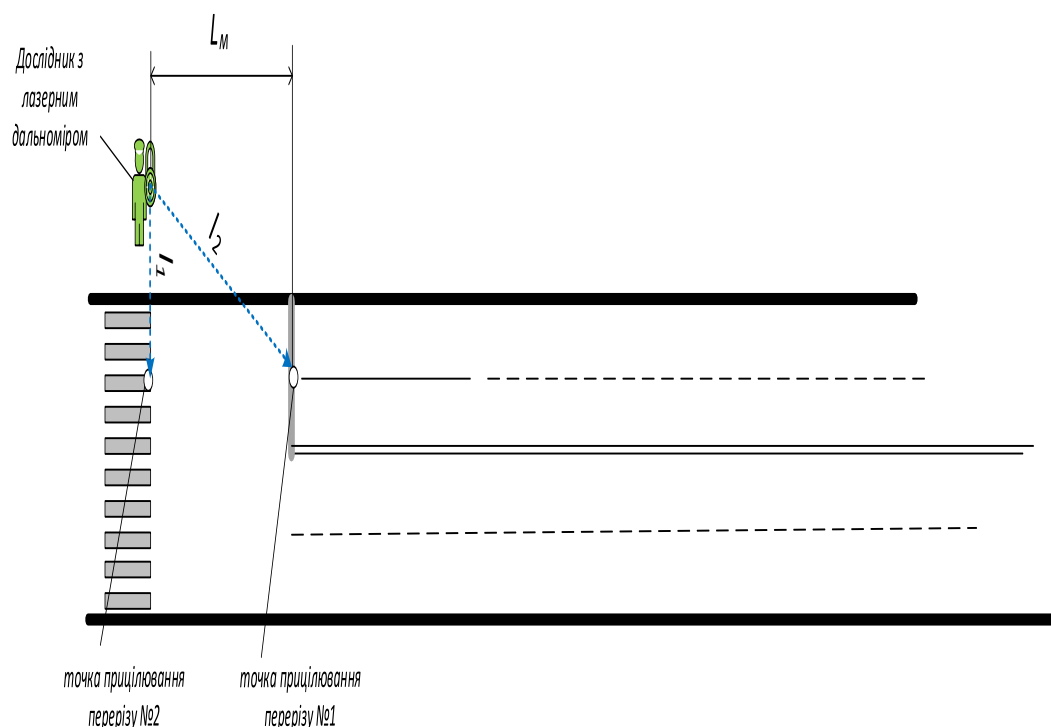


Рисунок 11.5 – Схема проведення вимірювань для визначення довжини мірного відрізка по вул. Площа Конституції 7

Як було зазначено вище, для зменшення похибки перспективи доцільно обирати в якості маркерів перерізів дороги об'єкти, розташовані максимально близько до транспортних засобів, що проїжджають. Ідеальним варіантом є використання дорожньої розмітки, але в цьому разі визначення відстані безпосередньо між маркерами пов'язано з неможливістю знаходження дослідника на проїжджій частині протягом деякого часу. Більш безпечно проводити два виміру відстані до точок прицілювання, розташованих уздовж мірного відрізка, з використанням лазерного дальноміру, як це показано на рис. 11.5.

Якщо одна з ліній прицілювання буде розташована перпендикулярно до мірного смуги руху транспортних засобів, довжина мірної ділянки розраховуватиметься за формулою:

$$L_M = \sqrt{l_2^2 - l_1^2}, \quad (11.1)$$

де l_1, l_2 – виміряні відстані до точок прицілювання по горизонталі, м.

Як видно з рис. 3, в якості маркерів для визначення перерізів мірного відрізка на першій ділянці були обрані розмітка 1.12 та початок розмітки 1.14.1; на другій – початок розмітки 1.5. Для ділянки ВДМ по вул. Площа Конституції 7 другий переріз мірного відрізка вдалося обрати таким, що він розташований перпендикулярно до центральної лінії камери. Це сприяло зменшенню погрішності при визначенні положення автомобіля в просторі дороги в перерізі №2. На рис. 11.4 камера зорієнтована таким чином, що перерізи мірного відрізка розташовані під певним кутом нахилу до площини кадрів відеозапису. Це може збільшувати похибку визначення положення автомобіля в просторі дороги та підвищити погрішність вимірювання швидкості руху.

Обробку відеозапису на етапі відстеження руху автомобіля між перерізами мірної ділянки можна спростити, якщо час руху автомобіля визначати одразу у програмі – медіапрогравачі, наприклад, за допомогою функції «тривалість зрізаного фрагмента», яка мається в програмному забезпеченні «Кіностудія Windows Live». Але для підвищення точності та достовірності визначення швидкості руху автомобіля з відеозапису рекомендується використовувати удосконалену методику, сутність якої полягає у підраховуванні кількості кадрів на відеозаписі за час проходження автомобіля між орієнтирами. Для цього доцільно провести попереднє розкадрування відеозапису, що дозволить визначати не кількість кадрів за час проходження автомобілем мірного відрізка, а лише номери кадрів в момент перетинання ним перерізів дороги.

Тоді час проходження кожного автомобіля мірною ділянкою може бути розрахований як:

$$t_i = \frac{N_2 - N_1}{C} \quad (11.2)$$

де N_1, N_2 – номер кадру відеозапису в момент проходження автомобіля повз перерізи 1 та 2;

C – частота кадрів відеозапису, с^{-1} .

Подальший процес обробки відеозапису полягає у відстежуванні руху окремих транспортних засобів ділянкою дороги. Відповідні номери кадрів для всіх автомобілів з обраного для дослідження обсягу вибірки заносяться до електронної таблиці, після чого програма розраховує значення швидкостей.

Швидкість i -го автомобіля визначатиметься за формулою:

$$V_i = 3,6 \cdot \frac{L_m}{t_{1-2}} \quad (11.3)$$

де L_m – довжина мірного відрізка (відстань між перерізами №1 та №2 в просторі дороги), м.

Подальше використання масиву експериментально визначених значень швидкостей транспортних засобів залежить від цілей дослідження. В процесі апробації описаної вище методики були отримані гістограми розподілу швидкостей руху транспортних засобів для двох ділянок ВДМ міста Харкова, які представлені на рис. 11.6, 11.7. В таблиці 11.1 також наведені основні статистичні характеристики отриманих розподілів. Це доводить працездатність запропонованої методики для проведення експериментальних досліджень швидкісних режимів руху транспортних засобів в реальних умовах.

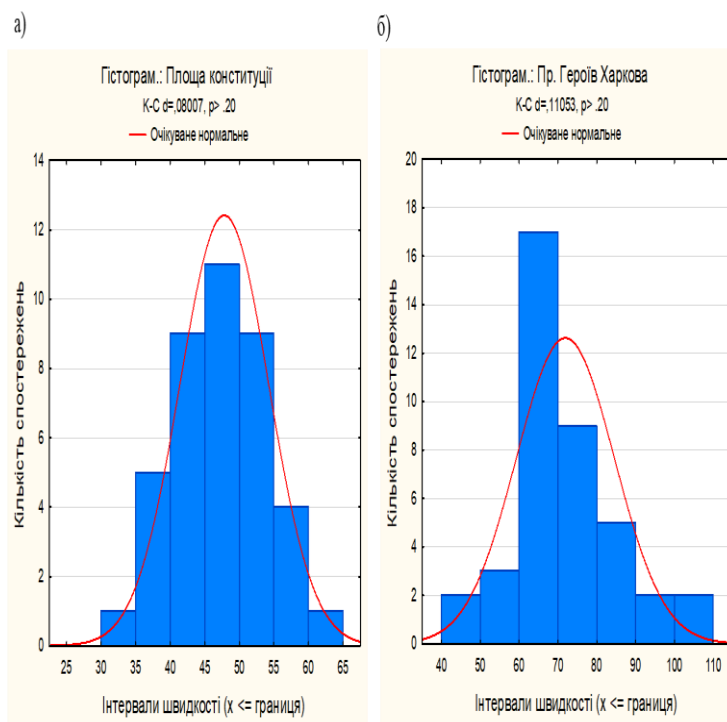


Рисунок 11.6 – Гістограми розподілу швидкостей руху транспортних засобів для ділянки вул. Площа Конституції 7

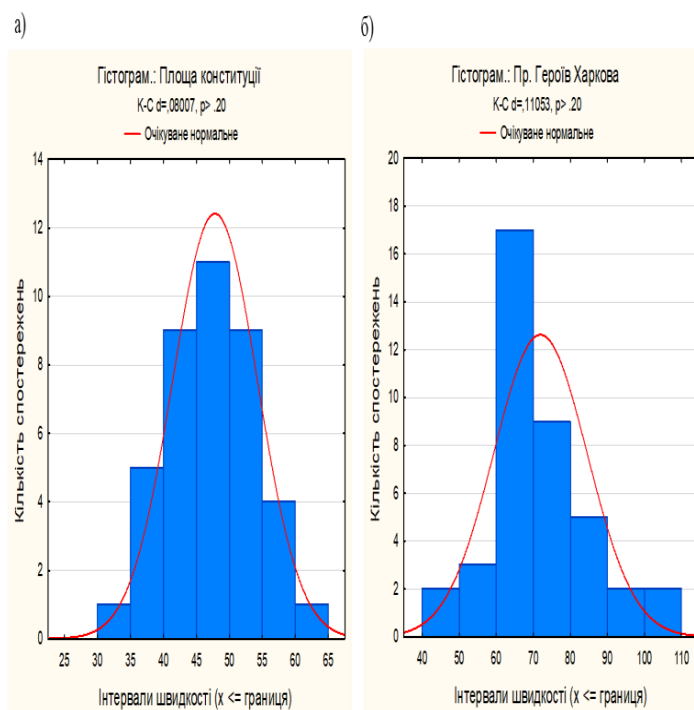


Рисунок 11.7 – Гістограми розподілу швидкостей руху транспортних засобів на ділянках ВДМ міста Харкова

Таблиця 11.1 – Статистичні характеристики розподілів швидкостей транспортних засобів на ділянках ВДМ міста Харкова

Показники	Розташування ділянки	
	Площа Конституції, 7	Просп. Героїв Харкова, 276
Середнєзважене	47,83	71,93
Медіана	47,00	69,50
Мода	45,00	68,00
Стандартне відхилення	6,42	12,64
Дисперсія вибірки	41,28	159,71
Мінімум	33,00	46,00
Максимум	64,00	102,00
Рівень надійності (95,0%)	2,05	4,04

В цілому можна відмітити, що закономірності розподілу швидкостей руху транспортних засобів на обраних ділянках ВДМ міста близькі до нормального закону. Отримати узагальнені статистичні дані розподілів також свідчать про наявність кореляції між середніми значеннями швидкостей та функціональним призначенням вулиць.

Так, досліджувана ділянка по вул. Площа Конституції розташована в центральній частині міста, що обумовлює менші значення середньої та медіанної швидкості. Оскільки наведені результати є частиною більш масштабного дослідження, на даній ділянці визначалися лише швидкості автомобілів, які рухалися перехрестям без затримки, тобто не зупинялися на забороняючий сигнал світлофора.

Ділянка по проспекту Героїв Харкова розташована на магістральній вулиці загальноміського значення, що обумовлює більш високий швидкісний режим. Також встановлено, що значна кількість водіїв допускала перевищення встановленого обмеження швидкості 50 км/год.

12 ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ У МІСТАХ

Дорожньо-транспортні системи більшості великих населених пунктів країни не відповідають зростанню інтенсивності дорожнього руху. Велика роль у вирішенні проблеми перенавантаження дорожньо-транспортних вузлів відводиться організації управління рухом транспорту. Одним із найважливіших завдань управління рухом наземного транспорту населеного пункту є створення автоматизованої системи керування дорожнім рухом (АСКДР), призначеної для адаптивного керування транспортними потоками з використанням інтелектуальних методів [85].

Основна мета впровадження автоматизованої системи керування дорожнім рухом полягає у підвищенні пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі (ВДМ) при забезпеченні необхідного рівня безпеки учасників дорожнього руху.

Якщо дотримуватися відомої класифікації АСКДР [86], то кожную діючу систему можливо віднести до одного з п'яти поколінь:

- покоління 1. Розрахунок керуючих впливів та введення їх у систему виконується вручну;
- покоління 2. Розрахунок керуючих впливів автоматизований, але введення їх у систему виконується вручну;
- покоління 3. Розрахунок керуючих впливів та введення їх в АСКДР автоматизовані;
- покоління 4. Управління здійснюється у реальному часі, тобто система працює у автоматичному режимі;
- покоління 5. Інтелектуальні системи управління, які займають окреме місце у теорії управління.

До основних функцій управління, які має забезпечувати міська АСУДР, слід віднести:

- ручне керування світлофорами через дистанційний пульт та, за необхідності, оперативне втручання в процес дорожнього руху – фази виклику, «жовте мигання», режим вимкнення світлофора;

- ручне керування світлофорами через пульт дистанційного керування у разі необхідності своєчасного втручання в процес руху – режим «Зелена вулиця», що визначає пріоритет конкретних транспортних засобів через перехрестя на заданому або довільному маршруті;

- диспетчер керує світлофорами з центрального диспетчерського пункту та при необхідності здійснює оперативне втручання в процес руху - фази виклику, «жовте миготіння», режим вимкнення світлофора;

- жорстке координоване управління за командами центрального керуючого пункту за заздалегідь заданими програмами координації, вибір програм за запитом оператора, за часом доби;

- гнучке координоване управління на основі параметрів транспортних потоків, одержуваних від детекторів транспорту з урахуванням реальної транспортної ситуації;

- локальне гнучке управління на основі параметрів транспортного потоку, отриманих від детекторів трафіку – локальне жорстке управління з резервними програмами;

- АСУДР міста має забезпечити контроль не лише світлофорів, а й багатопозиційних дорожніх знаків, зображення яких автоматично змінюється відповідно до конкретної дорожньої ситуації, що забезпечить можливість впровадження перспективних напрямків у зони регулювання руху міста. , тобто перерозподіл транспортного потоку на ВДМ з урахуванням рівнів навантаження її елементів (перегонів і перехресть) [87].

Інформаційні функції АСКДР наступні:

- забезпечує можливість візуального контролю дорожнього руху на ділянці ВДМ - формує сигнал про порушення Правил дорожнього руху (ПДР);

- збирати інформацію про обстановку на перехрестях, основних транспортних магістралях, проїздах тощо, у тому числі про інтенсивність, щільність руху, виникнення аварійних ситуацій та інші характеристики транспортного потоку;

- відеомоніторинг автомагістралей для фіксації заторів та вчасного реагування – архівація отриманих відеоданих для подальшого перегляду при необхідності;

- автоматична реєстрація порушень у роботі різних відділів АСКДР та повідомлення персоналу про виникнення порушень, можливі причини та шляхи виправлення ситуації;

- фіксація робочого протоколу АСКДР для забезпечення можливості подальшого аналізу даних.

У сучасних автоматизованих системах керування дорожнім рухом, поширених у більшості європейських країн, широко використовується інформація від відеокамер на перехрестях, що входять до складу систем локального відеоспостереження. Перевагою систем відеоспостереження є поєднання числової та візуальної інформації. Отримана інформація після обробки дозволяє організувати оптимальне керування транспортними потоками, скоординувати роботу ключових транспортних вузлів міста. Можлива організація моментального зворотного зв'язку з оператором системи, диспетчером центра керування при виникненні нештатних ситуацій [88].

У світі існує багато різних систем автоматизованого керування дорожнім рухом (АСКДР), які використовуються в різних країнах та містах. Ось декілька прикладів відомих систем АСКДР:

SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) - ця система, розроблена в Великобританії, використовується для оптимізації роботи світлофорів на перехрестях. Вона враховує велику кількість факторів, таких як потік транспорту, часові обмеження, інтенсивність руху, щоб максимально розподілити час між різними напрямками руху.

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) - ця система, розроблена в Австралії, використовується для автоматизованого керування світлофорами на

дорогах. Вона адаптивно реагує на змінні умови руху, використовуючи датчики і вимірювання, щоб оптимізувати таймінги світлофорів.

UTC (Urban Traffic Control) - ця система використовується у багатьох містах по всьому світу. UTC об'єднує керування світлофорами на різних перехрестях, враховуючи потоки транспорту, затори, часові обмеження та інші фактори для ефективного регулювання руху.

INRIX Traffic - це система, яка використовує дані GPS та мобільних додатків, щоб збирати інформацію про рух транспорту, прогнозувати затори та надавати рекомендації для оптимального маршрутування.

ATMS (Advanced Traffic Management System) - це система, яка об'єднує різні компоненти керування дорожнім рухом, включаючи світлофори, інформаційні табла, камери спостереження та системи збору даних. ATMS дозволяє операторам контролювати та оптимізувати рух транспорту в режимі реального часу.

AIMSUN (Advanced Integrated Multimodal Simulation) - це система моделювання та симуляції дорожнього руху, яка дозволяє вирішувати проблеми з розробки, тестування та оцінки транспортних стратегій та проектів. AIMSUN допомагає визначити оптимальні рішення з керування дорожнім рухом на основі різних сценаріїв та параметрів.

MOVA (Microprocessor Optimized Vehicle Actuation) - це система, яка використовується для оптимізації керування світлофорами на основі змінних умов руху. MOVA аналізує потік транспорту та автоматично регулює таймінги світлофорів, щоб забезпечити оптимальний рух транспорту.

TRANSYT (Traffic Network Study Tool) - це система, яка дозволяє моделювати та аналізувати потоки транспорту на дорожній мережі. TRANSYT враховує різні фактори, такі як кількість смуг руху, часові обмеження та потоки транспорту, для визначення оптимальних сигнальних режимів на світлофорах.

Системи АСКДР від SWARCO включають різні компоненти та програмне забезпечення, які дозволяють ефективно керувати світлофорами, контролювати рух транспорту та збирати дані про дорожні умови. Керування світлофорами: SWARCO надає рішення для оптимізації таймінгів світлофорів, щоб забезпечити максимально

ефективний рух транспорту. Вони використовують різні алгоритми та датчики для адаптивного керування сигналами світлофорів. Управління трафіком: SWARCO пропонує системи, які дозволяють операторам контролювати та координувати рух транспорту на дорогах. Це може включати надання пріоритету для конкретних видів транспорту, управління потоками на перехрестях та оптимізацію руху в областях з великим навантаженням.

АСКДР SEA TCS забезпечує виконання функцій:

- локального та координованого керування дорожнім рухом на об'єктах ВДМ;
- диспетчерського керування окремими світлофорними об'єктами, групами об'єктів;
- постійного моніторингу стану периферійного обладнання (дорожніх контролерів RTC, світлофорів та ін.), наявних несправностей;
- динамічний режим «Зелена хвиля» — одночасне керування світлофорами, інформаційними табло (виведення рекомендованої швидкості руху для водіїв), електронними дорожніми знаками та освітленням пішохідних переходів;
- відображення стану світлофорної сигналізації та циклограм у реальному масштабі часу [89].

АСКДР на сьогоднішній день діють у наступних містах України: Києві, Харкові, Дніпрі, Одесі, Запоріжжі, Львові, Житомирі, Миколаєві, Черкасах.

В Харкові на сьогоднішній день до автоматизованої системи керування дорожнім рухом з можливістю автоматичної фіксації порушень Правил дорожнього руху «АСКДР_ХАРКІВ» від КОМКОН ТРАФІК Диспетчерського центру підключено 121 світлофорних об'єктів. Керовані системою світлофорні об'єкти працюють на всіх транспортних магістралях міста.

Диспетчерський центр моніторингу та керування засобами організації дорожнього руху дозволяє виконувати:

- систематичний контроль стану обладнання світлофорних об'єктів, режимів їх роботи, наявності несправностей, відмов і аварійних ситуацій, що забезпечило істотну економію коштів експлуатаційно – ремонтних служб та оперативне усунення цих несправностей, чим знизило ризик виникнення аварійних ситуацій;

- диспетчерське дистанційне керування, як окремими світлофорними об'єктами, так і групами об'єктів, в тому числі магістральними;
- координоване керування магістралями з реалізацією режиму «Зелена хвиля» та «Зелена вулиця»;
- адаптивне керування як окремими світлофорними об'єктами, так і координованими магістралями з урахуванням поточної дорожньої обстановки;
- збір, аналіз та відображення даних з детекторів транспорту різного типу.

Диспетчерське управління дозволяє здійснювати оперативне регулювання режиму роботи об'єктів – дорожніх контролерів, переведення їх в спеціальні режими роботи. Підтримуються наступні режими роботи дорожніх контролерів: "Жовте миготіння", відключення світлофорів, встановлення заданої фази регулювання, перехід в режим роботи по добовій програмі. Існує можливість створення різних добових планів роботи: щоденний та на певні дні тижня.

Наразі моніторинг здійснюється на основі системи відеоспостереження, що включає в себе 238 мережевих відеокамери різних типів та виробників, встановлених в найбільш відповідальних транспортних вузлах.

Основною метою роботи автоматизованої системи керування дорожнім рухом у місті Київ є оптимізація транспортних потоків на дорогах столиці задля забезпечення безпечного пересування.

Під час підключення світлофорних об'єктів проводиться інтеграція до існуючої системи ЦПК АСКДР, а саме розрахунок планів координації в частині їх синхронізації з підключеними світлофорними об'єктами. Режим руху "Зелена хвиля" впроваджено на 49 маршрутах, що дозволяє зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод запобігти затримкам транспортних засобів, а також поліпшити екологічний стан столиці [90].

В Дніпрі диспетчер цілодобово в оперативному режимі керує станом світлофорів. Зараз у Дніпрі їх 224. Всі обладнані контролерами для керування з диспетчерської. Спеціаліст дистанційно може змінити режим роботи світлофора: відкоригувати часові інтервали роботи червоного, зеленого, жовтого світла. Раніше для цього необхідно було приїздити та робити налаштування на місці.

Також система сигналізує диспетчеру, якщо виникає несправність світлофора: відсутність зв'язку, перегорання ламп, поломка дорожніх контролерів через погодні умови або коливання електричної напруги, фізичні пошкодження.

4 світлофорних об'єкти в місті облаштовані адаптивною системою керування, тобто мають спеціальні датчики, які відслідковують інтенсивність дорожнього руху. Залежно від навантаження система коригує часові інтервали роботи червоного, зеленого, жовтого світла. Цими системами і надалі оснащуватимуть світлофори міста, перш за все – центральну частину Дніпра [91].

У Львові нараховують 159 світлофорних об'єктів. Найсучаснішим видом світлофорного регулювання вважають адаптивне або так звані «розумні» світлофори, які надають пріоритет громадському транспорту. У Львові вони працюють наступним чином: коли до перехрестя наближається трамвай – для нього вмикається зелений сигнал. Такі «розумні» світлофори у Львові працюють уздовж шостого, восьмого та другого трамвайних маршрутів. Загалом на львівських вулицях нараховують приблизно 35 світлофорних об'єктів із адаптивним регулюванням [92].

На підставі проведеного аналізу було виявлено відсутність єдиних вимог до принципів проектування АСУДР; крім того, різні виробники формують відмінні задачі, які ставлять перед системами. Найбільш раціонально підвищувати ефективність дорожнього руху на магістралях міста шляхом поступового впровадження автоматизованої системи керування. Спочатку необхідно розробити і впровадити локальні засоби для жорсткого регулювання руху. Потім локальні засоби для гнучкого керування рухом в залежності від параметрів транспортних потоків, які з рештою об'єднуються у систему жорсткого координованого управління транспортними потоками на окремих магістралях або на невеликих ділянках дорожніх мереж. Після цього розробляється і впроваджується АСКДР з адаптивним управлінням.

13 ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ

Щорічне збільшення кількості автомобілів у всьому світі та зростання обсягів перевезень сприяє збільшенню інтенсивності руху. В умовах міст, а саме Харкова, з історично сформованою забудовою, це призводить до виникнення транспортних проблем, а саме забруднення навколишнього середовища, перевантаження вулиць транспортними засобами (ТЗ) та зростання затримок та кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Тому, з метою поліпшення безпеки та ефективності дорожнього руху, дуже важливо постійно вдосконалювати та розширювати транспортну інфраструктуру шляхом застосування та впровадження сучасних технологій.

Особливо гостро транспортна проблема проявляється у вузлових пунктах вулично-дорожньої мережі (ВДМ), тобто на перехрестях, які є основними місцями концентрації ДТП. Статистика говорить, що близько 40 % ДТП відбувається саме на перехрестях [93].

У більшості міст України давно склалося історичне планування ВДМ: вузькі вулиці та нерівномірна мережа, яка не відповідає сучасним потребам руху ТЗ і пішоходів. Через збільшення кількості транспорту виникає перенасичення ВДМ рухом ТЗ, що не відповідає вимогам сучасного дорожнього стану [94]. Це впливає на зниження ефективності використання ТЗ, що пов'язано із зниженням швидкості руху через простой на перехрестях, а звідси і підвищення рівня шуму, збільшення загазованості повітряного басейну міста і перевитрати паливно-мастильних матеріалів.

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.

Одним із напрямів забезпечення швидкого і безпечного руху в містах є застосування комплексу архітектурно-планувальних та організаційних заходів. Ступінь захищеності його учасників від ДТП та їх наслідків є складовою частиною безпеки дорожнього руху [95]. Особливо широкого використання, як найбільш ефективного засобу підвищення безпеки дорожнього руху, набуло застосування заспокоєння дорожнього руху (ЗДР).

ЗДР як засіб контролю швидкості та інтенсивності руху вже довгий час має великий досвід застосування у багатьох країнах світу. В українській містобудівній літературі такий захід рідко розглядався і фактично не застосовувався на практиці [96]. До 2020 року в Україні був відомий лише «лежачий поліцейський». Доречі, ЗДР - це заходи, спрямовані на зменшення швидкості та інтенсивності руху на вулицях та дорогах з метою підвищення безпеки дорожнього руху та комфорту пішоходів і велосипедистів. Застосування таких заходів може бути корисним у міських районах та на вузьких вуличках з великою кількістю пішоходів та велосипедистів, де звичайний рух автомобілів може бути небезпечним.

Аналіз літературних джерел показав, що кількість засобів ЗДР дуже велика та кожний засіб має свої переваги і недоліки [97]:

дорожні пагорби (ДП) зменшують швидкість руху ТЗ, що допомагає знизити ризик виникнення ДТП, збільшити час реакції водіїв на небезпечні ситуації на дорозі. Водночас ДП збільшують час руху ТЗ, витрати палива, що призводить до збільшення негативного впливу на довкілля, погіршують стан дорожнього покриття та їх недоцільне розміщення може сприяти збільшенню кількості заторів на ВДМ;

підвищені пішохідні переходи (ППП) разом із забезпеченням безпеки пішоходів та зменшенням ризику їх травмування під час перетину дороги, знижують швидкість руху ТЗ, що викликає затори на підходах до пішохідних переходів. Однак зниження швидкості сприяє зменшенню ризику ДТП. Наявність підвищення може змінювати звичайний рух водіїв, призводити до нестабільності у їх русі та спричиняти необхідність додаткової уваги з їх боку. Також, ППП вимагають покращення доступу для людей з обмеженими можливостями;

підвищені перехрестя (ПП), як і ППП, знижують швидкість руху ТЗ на перехресті, тим самим покращуючи безпеку руху для пішоходів та велосипедистів. Але, змушуючи водіїв їхати повільніше, ПП збільшують час руху по ВДМ, що не є ефективним при вирішенні задач з ОДР в частині мережевого управління. Висока ціна будівництва ПП може бути для нашої країни досить дорогим заходом, зокрема через потребу у додатковій площі та матеріалах. Слід відмітити і погіршення комфорту руху для пасажирів громадського транспорту через посилення відштовхувальної сили та збільшення поштовхування. ПП вимагають постійного обслуговування, тобто витрат на утримання, що можуть бути пов'язані, наприклад, з чисткою снігу та льоду взимку;

шикани набули найбільшої популярності в місцях з великою кількістю пішоходів, особливо дітей. Вони також знижують швидкості руху ТЗ, що сприяє зниженню кількості ДТП та тяжкості їх наслідків. Шикани зменшують рівень шуму, забруднення навколишнього середовища та допомагають знизити витрати на утримання доріг. Однак, поряд з перевагами мають і недоліки: іноді призводять до ускладнень проїзду деяких типів ТЗ, а саме великі вантажівки та автобуси; збільшують час руху для транспорту, особливо в пікові години доби; створюють незручності для руху велосипедистів та мотоциклістів;

міні-кільця, як доведена більшістю наукових досліджень, один з найдієвіших способів збільшення пропускної спроможності перехрестя [98], особливо в години «пік», коли інші перетинання можуть викликати затори. Як і попередні засоби ЗДР міні-кільця знижують швидкість руху ТЗ, а звідси і ризик виникнення ДТП. На додачу, зменшують час очікування на світлофорах, тому що рух відбувається майже без зупинки та в цілому поліпшують естетичний вигляд перехрестя, оскільки острівця може бути прикрашений зеленими насадженнями або скульптурними спорудами. Однак, навіть міні-кільця може вимагати розширення дороги, що сказується на розмірі витрат на будівництво та особливо уважного поводження водіїв при проїзді перехрестя. Тому такі перехрестя вимагають додаткового освітлення, особливо вночі або в умовах обмеженої видимості. До того ж, міні-кільця є складними елементами ВДМ для проїзду їх велосипедистами та

проходження пішоходами, які можуть мати проблеми з перетинанням вулиці через нескінченний плин транспорту. Труднощі при проїзді виникають і у великогабаритних ТЗ, які не можуть повернути на ротонді з достатньою швидкістю, що також може відобразитися на появі тимчасових заторів. При впровадженні міні-кілець в районі лісосмуг, вони здатні зменшити такий вид ДТП як наїзд на тварину.

каналізування транспортних потоків надає можливість зменшити кількість конфліктних точок на елементах ВДМ, оскільки рух відбувається по визначених напрямках. Для кожного напрямку можна планувати свою раціональну роботу світлофорних об'єктів, що зменшує час очікування руху ТЗ на світлофорі. При каналізуванні може бути збільшена видимість світлофорних об'єктів, дорожніх знаків, розмітки тощо, однак наслідком цього є збільшення витрат на їх облаштування та подальше обслуговування. Недоліком каналізованого руху є і потреба в додаткових просторових ресурсах для організації розділення потоків та зменшення пропускної спроможності дороги, що також пов'язано з розділенням потоків.

перекривання перехрестя зменшує його пропускну спроможність, створюючи додаткові затори. Час на проїзд перехрестя водіями залежить від конфігурації перешкоди, бар'єрів, які в свою чергу ускладнюють рух пішоходів та велосипедистів через перехрестя. Однак такі перекривання впливають зменшення ймовірності виникнення ДТП, а саме зіткнень, зменшення кількості нещасних випадків з пішоходами та велосипедистами. Покращується і контроль з а рухом ТЗ на перехресті.

и) чокери знижують швидкість руху транспорту, що зменшує ризик виникнення аварій та забезпечує більшу безпеку для пішоходів та велосипедистів. Також зменшується ризик перетину розмітки дороги ТЗ До недоліків відноситься те, що чокери підвищують ризик заторів у пікові години доби при великих обсягах руху ТЗ, через що зменшується пропускна спроможність елементів ВДМ, та унеможливають рух великогабаритних ТЗ.

к) вставки по осі дороги забезпечують безпеку дорожнього руху шляхом покращення видимості, особливо в умовах низької освітленості або поганих

погодних умов; за рахунок створення додаткового простору для руху транспорту та керування швидкістю руху; шляхом зменшення взаємодії між ТЗ, що зменшує ймовірність зіткнень; шляхом забезпечення чіткої лінії руху ТЗ, що допомагає водіям зберегти свій фокус. В цілому такі вставки покращують потік руху ТЗ, зменшуючи затори на ділянках доріг з великими інтенсивностями руху за рахунок дозволу автомобілям здійснювати обгін повільних типів ТЗ. Однак, встановлення вставок по осі дороги має високу вартість, особливо на великих ділянках дороги; через високі інтенсивності руху ТЗ може збільшуватися шум від транспорту, що створює проблеми звукоізоляції для мешканців будинків, які розташовані вздовж доріг. Такі вставки можуть збільшити розрив між смугами, що призводить часто до погіршення рівності дороги та збільшення вібрації для водіїв. Окрім цього, вставки потрібно постійно підтримувати в задовільному стані та обслуговувати, куди входить їх регулярне миття, ремонт та заміна. Не слід забувати і про погіршення видимості для водіїв на ділянках дороги з крутими поворотами або обмеженою видимістю.

Аналіз засобів ЗДР дозволяє зробити висновок, що вони можуть бути ефективними засобом контролю швидкості руху транспорту на вулицях міста, проте їх слід використовувати з розумінням, ретельно обґрунтовуючи застосування того чи іншого виду засобу.

Для вирішення проблем ОДР останнім часом дуже широко застосовують інструменти моделювання дорожнього руху. При необхідності переходу на мікрорівень, тобто при плануванні руху на окремому перехресті, групі перехресть або наочній демонстрації громадськості змін, які відбудуться в районі міста у випадку будівництва нових доріг, розв'язок тощо, застосовується моделювання в програмному забезпеченні PTV Vision VISSIM. Для оцінки ефективності засобів ЗДР, спробуємо провести аналіз впровадження різних методів ОДР на одному із аварійних перехресть м. Харків вул. Рибалка — вул. А. Ощепкова. А програмне забезпечення PTV Vision VISSIM дозволить створити транспортні моделі руху ТЗ, що дозволить оперативно дослідити та оцінити ефективність різних заходів з удосконалення ОДР.

Метою дослідження є підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиць А. Ощепкова та Рибалка у м. Харків за рахунок вибору найефективнішого засобу ЗДР.

Для реалізації мети необхідно провести дослідження дорожніх умов та параметрів транспортних і пішохідних потоків, на основі яких стане можливим розробити імітаційні транспортні моделі перехрестя у програмному середовищі PTV Vision VISSIM.

Перехрестя вул. А. Ощепкова (вулиця міського значення) – вул. Рибалка (магістральна вулиця районного значення) відноситься до Х-образного типу, має організований двосторонній рух транспорту, через усі вулиці здійснюється пішохідний рух. Перехрестя в існуючому вигляді зображено на рис. 13.1. Статистика ДТП на цьому перехресті свідчить, що основною причиною є обмежена оглядовість на ньому (див. рис. 13.1).

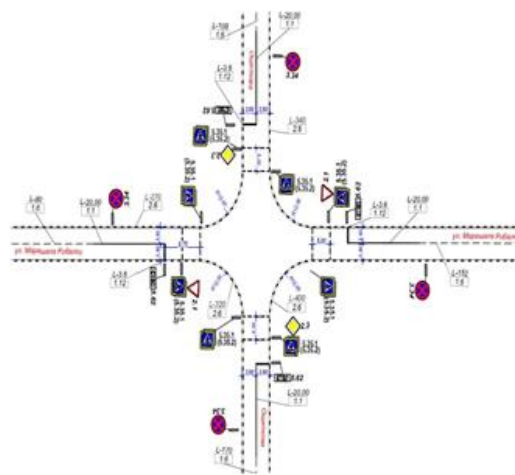


Рисунок 13.1 - Фото з прикладом ДТП та схема розташування технічних засобів регулювання дорожнім рухом на перехресті вул. А. Ощепкова - вул. Рибалка до 2020 року

Після великої кількості усних та письмових звернень в профільні органи, і навіть в Верховну раду, та повідомлень в соціальних мережах на перехрестя восени 2020 року було встановлено світлофорне регулювання (див. рис. 13.2).

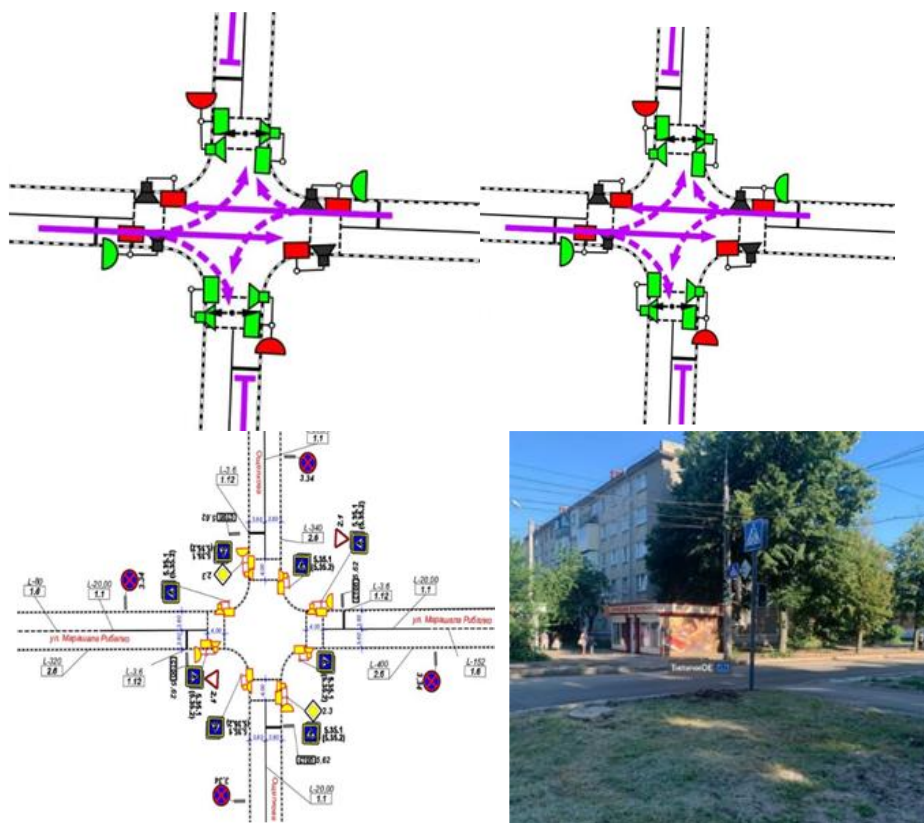


Рисунок 13.2 - Існуюча схема пофазного роз'їзду та розташування технічних засобів регулювання на перехресті вул. А. Ощепкова - вул. Рибалка

Однак розташування МАФ, які здійснюють підприємницьку діяльність з продажу продовольчих товарів, так і залишилось, що не занадто відобразилось на зменшенні ДТП, особливо під час воєнних дій, коли відбувались відключення світла. Ускладнюють дорожній рух і ТЗ, які здійснюють розвантаження товарів в МАФ, що також обмежує необхідну для безпечного руху видимість.

Для підвищення безпеки дорожнього руху на даному перехресті необхідно підвищити перш за все видимість, для чого необхідний провести демонтаж існуючих МАФ. Однак, таких захід, по-перше, не є популярним, так як може призвести до втрати робочих місць, а по-друге, згідно даних з кадастру ряд земельних ділянок під цими МАФами мають відповідні дозвільні документи.

Тож, для підвищення безпеки дорожнього руху на даному вузлі, з урахуванням існуючих дорожніх умов, необхідно зменшувати швидкість руху ТЗ. Із зниженням швидкості зменшиться і нормативне значення видимості [99], яке буде відповідати існуючому стану перехрестя.

Зниження швидкості можливо реалізувати із застосуванням:
 відповідних дорожніх знаків (недієвий захід);
 застосування світлофорного регулювання (недієвий захід);
 застосування засобів ЗДР.

В кожного із вищеперелічених заходів є свої переваги та недоліки. Який із цих варіантів більш ефективний спробуємо визначити із застосуванням імітаційного моделювання в PTV Vision VISSIM. У ході експериментальних досліджень буде змінюватися інтенсивність руху транспортного потоку. Вона варіюватиметься від базової інтенсивності до + або – 20% із кроком 10% .

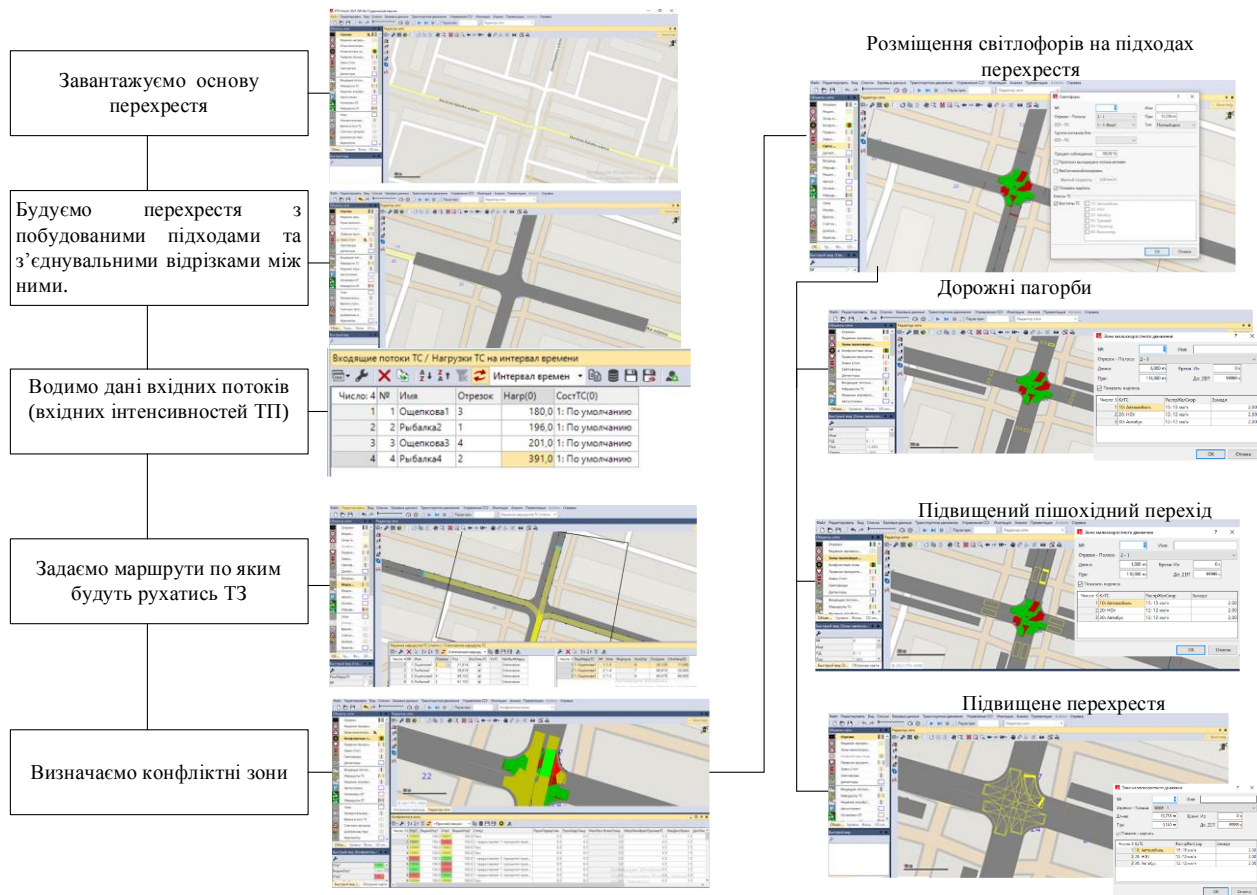


Рисунок 13.3 – Алгоритм побудування моделі у програмному продукті PTV Vision VISSIM

Тож, розглянемо такі варіанти моделювання ОДР на перехресті вул. А. Ощепкова – вул. Маршала Рыбалка: регульоване перехрестя (РП); влаштування на проїзній частині ДП; влаштування на проїзній частині ППП; влаштування на

проїзній частині ПП.

Після проведення моделювання різних варіантів ОДР проведено аналіз критеріїв функціонування ОДР [100]. Було обрано найбільш впливові критерії для оцінювання розроблених заходів та визначено рівень обслуговування (LOS) [101]: середня затримка руху ТЗ; кількість зупинок ТЗ; середня довжина затору; максимальна довжина затору.

Цільова функція критерію оцінювання варіантів ОДР на перехресті має вид:

$$\begin{matrix} РП \\ ДП \\ ППП \\ ПП \end{matrix} = \begin{cases} N_{зуп}^{ТЗ} \\ L_{зат}^{зат} \\ t_{ср} \\ L_{зат} \end{cases} = f(N) \rightarrow \min, \quad (13.1)$$

де N - інтенсивність транспортного потоку, авт./год;

$N_{зуп}^{ТЗ}$ - кількість зупинок ТЗ, од.;

$t_{ср}$ - середня затримка ТЗ, с;

$L_{зат}$ - довжина затору, м;

$L_{зат}^{зат}$ - максимальна довжина затору, м.

Для визначення виду та параметрів моделей були використана сучасна комп'ютерна програма обробки статистики Statgraphics, яка дозволяє описати отриману статистику різними видами математичних функцій. Результати обробки експериментальних даних наведені в таблиці 1.

На рисунку 13.4 наведені залежності зміни критеріїв оцінки заходів при зміні інтенсивності руху ТЗ для різних варіантів ОДР.

Аналіз результатів моделювання варіантів ОДР за обраними критеріями на перехресті при зміні інтенсивності ТП показав:

- результат моделювання критерію «середня затримка транспортних засобів» показав, що при базовій (968 авт./год) та найменшій (774 авт./год) інтенсивності кращий результат має ДП («лежачий поліцейський») – 8,3 с та 6 с середньої затримки на перехресті. Хоча, при збільшеній інтенсивності на 20 % (1161 авт./год)

– кращий показник має «світлофорне регулювання», а саме 11 с середньої затримки на перехресті;

- результат моделювання критерію «кількість зупинок ТЗ» показав, що при всіх запропонованих інтенсивностях кращий результат має «світлофорне регулювання». А саме, 0,61 кількість зупинок транспортних засобів при базовій інтенсивності, 0,52 та 0,58 кількість зупинок ТЗ при -20 % та +20 %;

- результат моделювання критерію «середня довжина затору» показав, що при базовій (968 авт./год.) та найбільшій (1161 авт./год.) інтенсивності кращий результат має «світлофорне регулювання» – 2,9 м та 3 м середньої довжини затору на перехресті. Хоча, при найменшій інтенсивності в – 20 % (774 авт./год) – кращий показник має ДП, а саме 2,1 м середньої довжини затору на перехресті.

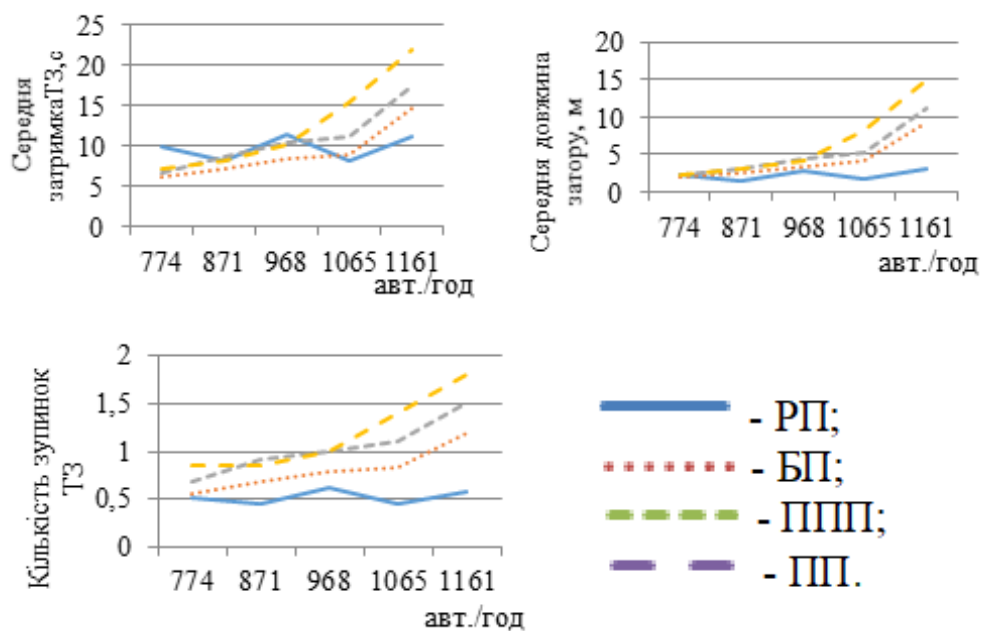


Рисунок 13.4 - Графіки залежності критеріїв ефективності в залежності від заходу заспокоєння руху при різних значеннях інтенсивності руху

Таблиця 13.1 - Результати обробки експериментальних даних у програмі Statgraphics

Варіанти ОДР на перехресті	Залежність	Коефіцієнт кореляції	Durbin-Watson statistic	Середня абсолютна помилка
РП	$N_{\text{зуп}}^{\text{ТЗ}} = 0,13 \cdot e^{0,202 \cdot N}$	0,98	2,37091 (P=0,3757)	0,06
	$t_{\text{ср}} = 49,3 - 0,105 \cdot N + 0,000064 \cdot N^2$	0,92	2,76416 (P=0,1743)	0,74957
	$L_{\text{max}}^{\text{затоп}} = 281,174 - 0,598 \cdot N + 0,00036 \cdot N^2$	0,93	2,98212 (P=0,3532)	3,39711
	$L^{\text{затоп}} = 53,3 - 0,12 \cdot N + 0,00007 \cdot N^2$	0,94	2,8274 (P=0,2180)	0,571
ДП	$N_{\text{зуп}}^{\text{ТЗ}} = 0,13 \cdot e^{0,202 \cdot N}$	0,98	2,37091 (P=0,3757)	0,06
	$t_{\text{ср}} = 49,3 - 0,105 \cdot N + 0,000064 \cdot N$	0,94	2,76416 (P=0,1743)	0,74957
	$L_{\text{max}}^{\text{затоп}} = 281,174 - 0,598 \cdot N + 0,00036 \cdot N^2$	0,93	2,98212 (P=0,3532)	3,39711
	$L^{\text{затоп}} = 53,3 - 0,12 \cdot N + 0,00007 \cdot N^2$	0,94	2,8274 (P=0,2180)	0,571
ППП	$N_{\text{зуп}}^{\text{ТЗ}} = 0,18 \cdot e^{0,002 \cdot N}$	0,97	2,55008 (P=0,4872)	0,045
	$t_{\text{ср}} = 1,2 \cdot e^{0,002 \cdot N}$	0,97	2,68434 (P=0,5745)	0,056
	$L_{\text{max}}^{\text{затоп}} = 2,0079 \cdot e^{0,0019 \cdot N}$	0,88	2,00113 (P=0,1882)	1,18287
	$L^{\text{затоп}} = 53,3 - 0,12 \cdot N + 0,00007 \cdot N^2$	0,94	2,9 (P=0,2280)	0,58
ПП	$N_{\text{зуп}}^{\text{ТЗ}} = 6,1 - 0,013 \cdot N + 0,00008 \cdot N^2$	0,99	3,16238 (P=0,5507)	0,022
	$t_{\text{ср}} = 77,89 - 0,17 \cdot N + 0,0001 \cdot N^2$	0,99	3,55963 (P=0,9331)	0,773
	$L_{\text{max}}^{\text{затоп}} = 291,35 - 0,66 \cdot N + 0,00042 \cdot N^2$	0,99	2,63448 (P=0,1049)	0,772594
	$L^{\text{затоп}} = 75,77 - 0,179 \cdot N + 0,00011 \cdot N^2$	0,99	2,65844 (P=0,1158)	0,378

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.

Аналіз результатів обстеження використання водіями ременів безпеки показує, що в період з 2015 по 2021 рік відсоток ігнорування ременя безпеки, водіями транспортних засобів зменшувався з 75 % до 45 %. В період воєнного стану відсоток ігнорування ременя безпеки знову збільшився і складав у 2022 році в м. Харкові 85 %.

Звідси випливає, що врегулювання питання з підвищенням самосвідомості громадян в Україні має обов'язково відбуватися і в період воєнного стану на двох рівнях: законодавчому та просвітницько-соціальному.

Для цього повинні проводитися певні кампанії та програми виборчого контролю за застосуванням ременів безпеки, які призведуть до покращення використання ременів безпеки та проявляться в підвищенні рівня їх використання

Моделювання транспортної системи м. Харкова показало, що введення одностороннього руху по вул. Миру та вул. Біблика є доцільним в порівнянні з існуючою ОДР. При цьому саме застосування варіанту 2 схеми ОДР дозволяє отримати соціальний ефект, якій полягає в зменшенні кількості конфліктних точок в 2,5 рази, коефіцієнта відносної небезпеки приблизно в 1,4 рази та скороченні сумарного часу реалізації транспортних кореспонденцій при проїзді по досліджуваній мережі на 100,7 хв. (7 %).

Пропонований підхід до моделювання транспортної мережі міста з радіальним плануванням, який полягає у розділенні території міста на укрупнені периферійні райони та центральну частину дозволяє зменшити трудомісткість створення моделі міста, а врахування добових коливань інтенсивності транспортних потоків на

в'їздах/виїздах з центральної частини міста дозволяє зменшити необхідний обсяг вибірки при проведенні обстеження інтенсивності транспортних потоків.

Для розв'язання транспортних задач у кількісній формі необхідне послідовне використання безрозмірних величин, тобто критеріїв подібності і відносних змінних. При цьому розв'язання задачі представляється у формі рівнянь в безрозмірних величинах, якими шукані відносні змінні визначаються як однозначні функції незалежних відносних змінних і критеріїв подібності, що грають роль постійних параметрів». Таким чином, загальний тип рівняння буде

$$Y = f(x, 1_2x, \dots, \mathfrak{Z}_1, \mathfrak{Z}_2, \dots, \Pi_1, \Pi_2, \dots)$$

де Y – шукана змінна транспортного потоку;

x – незалежна змінна;

$\mathfrak{Z}$ – критерії комплексного типу;

Π – критерії параметричного типу.

Маючи у своєму складі динамічну експертну систему, інтелектуальна система управління має можливість уточнювати моделі й тому вона є адаптивною системою управління, що підвищує ефективність управління об'єкту управління. З урахуванням того, що виконує розрахунки, оптимізацію на підставі баз параметрів ОУ та баз моделей управління об'єктом є автоматичною із високою швидкістю. Особливу увагу заслуговує наявність в ДЕС формування системи підтримки прийняття рішень для особи, що приймає рішення (ОПР), яка вкрай необхідна у СУДР.

Проаналізувавши закордонний досвід у створенні велосипедної інфраструктури, можна сказати, що для України існує ціла низка задач, які потребують вирішення. Міський транспорт і транспортний рух все більше орієнтується на машини, тобто сучасне місто досі створюється і розвивається більше для машин, ніж для людей. Потрібне усвідомлення того, що вплив на довкілля, небезпека на дорогах і погані умови мешкання в містах становлять занадто високу ціну для так званого автомобільного прогресу. Потрібно переорієнтовувати міське

населення на використання масового пасажирського транспорту, а також на індивідуальний ефективний та безпечний транспорт – велосипедний.

Наслідки та проблеми облаштування блокпосту.

Швидкість автомобіля.

Уповільнює рух, спонукаючи водія до помірної швидкості транспортного засобу за допомогою ряду горизонтальних відхилень. Ступінь зниження швидкості (або кінцева швидкість) залежить від тривалості зміни траєкторії, а також обсягу та розподілу трафіку. Менш ефективний у зниженні швидкості автомобіля, коли інтенсивність трафіку в одному напрямку значно вища, ніж інше або коли інтенсивність настільки низька, що ймовірність зіткнення зустрічних напрямків в зоні блокпосту низька. Може все ще дозволяти перевищення швидкості водіям, які зрізають прямий шлях через центральну лінію, що вирішується розміщенням середнього острівця для спрямування потоків за напрямками.

Розміри автомобіля.

Доцільно застосовувати різні типові рішення по розміщенню блоків в залежності від типу транспорту, який користується даним напрямком.

Безпека та мобільність пішоходів.

Як правило, це не бажане місце для пішохідного переходу, оскільки увагу водія слід зосередити на горизонтальному відхиленні.

Безпека та мобільність велосипедистів.

Звуження проїзної частини унеможливорює виділення окремого простору для велосипедиста на проїзній частині. Велосипед та транспортний засіб рухаються однією смугою руху. Потребує окремого впорядкування в населених пунктах з високими відсотковими показниками використання засобів малої мобільності, можливо із застосуванням об'їзних окремих шляхів.

Безпека та мобільність автомобіліста.

Суттєвий вплив на комфорт роботи водія. Розглядається як декілька перешкод із різкими поворотами, гальмуванням і прискоренням.

Безпека та мобільність транспортних засобів екстреної допомоги.

Має зберігати достатню ширину, щоб забезпечити доступний проїзд

транспортних засобів екстреної допомоги; має мало впливати на час реагування на надзвичайні ситуації.

Безпека та мобільність великогабаритних транспортних засобів.

Зберігає достатню ширину, щоб забезпечити доступний проїзд великих транспортних засобів лише у випадку чіткого прорахунку відстані розташування окремих загороджувальних пристроїв.

Доступність суміжної власності.

Може знадобитися видалення деяких парковок на вулиці в межах блокпосту і, отже, може зменшити доступність прилеглої власності.

Розміщення має враховувати доступність під'їзних шляхів.

Навколишнє середовище.

Потребує очищення від зайвих рослин.

Не має вимагати переміщення надземних і підземних комунікацій.

Засоби заспокоєння руху є ефективним доповненням до обмежень швидкості, встановлених за допомогою технічних засобів регулювання. Заспокоєння руху має на меті не стільки примус до руху з низькою швидкістю, скільки забезпечення рівномірності транспортних потоків для підвищення безпеки руху та пропускної здатності доріг та вулиць.

Сучасні програмні продукти імітаційного моделювання дорожнього руху є потужним і необхідним інструментом оцінки та розробки ефективних заходів з удосконалення функціонування вулично-дорожніх мереж міст в цілому, так і окремих їх елементів.

Використання розробленої в PTV VISSIM імітаційної моделі дорожнього руху при застосуванні засобів заспокоєння руху дозволяє зробити обґрунтовані висновки щодо їх впливу на ефективність дорожнього руху. Отримані результати імітаційного моделювання на підставі порівняльного аналізу соціальних та економічних критеріїв ефективності ДР стверджують, що реалізація прийнятих заходів є не зовсім доцільним та дієвим заходом для підвищення ефективності ДР, але з точки зору безпеки дорожнього руху застосування засобів заспокоєння дорожнього руху є досить дієвим.

З метою створення раціональних мереж автомобільних доріг є доцільним будівництво окремих доріг, тобто відокремлених ділянок мережі. Оскільки, раціональні мережі автомобільних доріг включають оцінку майбутньої інтенсивності руху та його складу. Проектувальник, згідно прогнозу інтенсивності руху та типу автомобільних доріг, встановлює категорію дороги, та відповідні норми на проектування.

У процесі проектування встановлюють геометричні елементи дороги, тип і конструкцію дорожнього покриття, облаштування та вартість дороги вартість. З метою визначення ефективності функціонування системи необхідна інформація вартості експлуатації і реконструкції дороги також про майбутній транспортний попит користувачів даної автомобільної дороги, що в даний час використовується в якості вагових показників.

Застосовуючи в процесі тренування на автомобільному тренажері описані вище педагогічні принципи, інструктор отримає найбільший ефект від тренування. Навчання і тренування слід розглядати як єдиний нерозривний процес. Разом з тим вони не є тотожними за своїми завданнями і методами: завдання навчання – головним чином оволодіння необхідними знаннями та оволодіння практичними навичками, завдання тренування – закріплення і подальше вдосконалення навичок.

З метою усунення помилок в техніці керування автомобілем, та удосконалення майстерності водіння автомобіля в автошколах повинні використовуватися на практиці спеціалізовані технічні засоби і методи підготовки водіїв, що значно підвищить безпеку руху на дорогах нашої країни.

Оскільки вимірювання швидкостей руху автотранспортних засобів на ділянках вулиць та доріг є поширеною проблемою, що вирішуються представниками багатьох галузей, пов'язаних з дорожнім рухом, буде залишатися актуальним питання пошуку та апробації методів проведення відповідних експериментальних досліджень. Була запропонована спрощена методика дослідження швидкісного режиму на ділянках вулиць та доріг, заснована на аналізі відеозапису. Для перевірки працездатності зазначеної методики на двох ділянках ВДМ міста Харкова були проведені експериментальні дослідження з визначення фактичної швидкості руху

транспортних засобів. В якості джерела даних були взяті відеозаписи зі стаціонарних камер відеоспостереження. В результаті були отримані розподіли фактичних швидкостей руху транспортних засобів для обраних ділянок ВДМ та розраховані їх статистичні характеристики. Це стало підтвердженням можливості використання запропонованої методики для дослідження швидкостей руху транспортних засобів.

На підставі проведеного аналізу було виявлено відсутність єдиних вимог до принципів проектування АСУДР; крім того, різні виробники формують відмінні задачі, які ставлять перед системами. Найбільш раціонально підвищувати ефективність дорожнього руху на магістралях міста шляхом поступового впровадження автоматизованої системи керування. Спочатку необхідно розробити і впровадити локальні засоби для жорсткого регулювання руху. Потім локальні засоби для гнучкого керування рухом в залежності від параметрів транспортних потоків, які з рештою об'єднуються у систему жорсткого координованого управління транспортними потоками на окремих магістралях або на невеликих ділянках дорожніх мереж. Після цього розробляється і впроваджується АСКДР з адаптивним управлінням.

В результаті досліджень доведено, що впровадження світлофорного регулювання на перехресті вул. А Ощепкова - вул. Маршала Рибалка є доцільним методом ОДР, але при цьому не слід виключати застосування ефективних доповнень до обмеження швидкості на елементах ВДМ — засобів ЗДР. Серед можливих для застосування засобів ЗДР нами запропоновано впровадити на перехресті використання саме ДП, який менш ніж всі впливає на затримки руху при проїзді перехрестя та дозволяє зменшити небезпеку та тяжкість травмувань учасників дорожнього руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна поліція України [Електронний ресурс] // Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <http://www.npu.gov.ua>.
2. Верховна рада України [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://rada.gov.ua>.
7. Савченко А. Вчасні методи збільшення пасивної безпеки автомобіля. Автобудування за кордоном. 2007, №11. С.13–15.
8. Мигаль В.Д. Технічна безпека автомобілів : справ. посібник. Х.: Майдан, 2011. 202 с.
9. Ремінь безпеки [Електронний ресурс] Вікіпедія. Вільна енциклопедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ремінь_безпеки.
10. Про Правила дорожнього руху: постанова Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306 / Офіційний вісник України від 26.10.2001–2001 р., № 41.
11. Постійне представництво України при відділенні ООН та інших міжнародних організаціях у Женеві [Електронний ресурс] // Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <https://geneva.mfa.gov.ua/ua/ukraine-io/who>.
12. КАМПАНІЯ “ЗА БЕЗПЕЧНІ ДОРОГИ” – (<https://cedem.org.ua/direction-gromadyanske-suspilstvo/kampaniya-za-bezpechni-dorogy/>)
13. Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, 2000
14. Організація та безпека дорожнього руху: Підручник / Бакуліч О.О. та ін.; за заг. ред. В. П. Поліщука. Київ, 2016. 467 с.
15. VISUM 11.0 Fundamentals / PTV AG, Karlsruhe, 2009. 690 p.
16. Горбачов П.Ф., Дмитрієв І.А. Основи теорії транспортних систем: навч. посіб. Харків, 2002. 202 с.
17. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Моделювання транспортних систем» для студентів денної форми навчання напряму підготовки 6.070101 – «Транспортні технології» / Россолов О. В., Король В. Ю., Свічинський С. В. Харків: ХНАДУ, 2013. 41 с.

18. Засядько Д. В. «Методи розрахунку матриці транспортних кореспонденцій через значення вимірів інтенсивностей потоків на ділянках мережі» » / Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури» Випуск 5 (67). Макіївка – 2007 р., стор 27-30.
19. Гецович Е. М., Засядько Д. В. «Определение интенсивностей и направлений транзитных транспортных потоков в центральной деловой части города» / Научно-технический сборник “Коммунальное хозяйство городов», ХНАГХ. Випуск №86 Київ, «Техніка» - 2009 р., стор. 350-357.
20. Сильянов В.В. Технический прогресс и безопасность движения // За рулем. - 2004, - № 4. - С.17.
21. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. - М.: Стройиздат, 2002. - 142 с.
22. Дрю Д.Р. Теория транспортных потоков и управление ими. - М.: Транспорт, 1972. - 424 с.
23. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. - М.: Транспорт, 1977. - 350 с.
24. Коноплянко В.И. Организация и безопасность городского движения. - М.: Транспорт, 1991. - 182 с.
25. Клишковштейн Г.И., Афанасьев М.Е. Организация дорожного движения. - М.: Транспорт, 1992. - 208 с.
26. Самойлов Д.С., Юдин В.А., Рушевский П.В. Организация и безопасность городского движения. - М.: Высшая школа, 1981. - 256 с.
27. Алабужев И. Д. Теория подобия и размерностей. Моделирование. / Алабужев И. Д. – М.: Высшая школа, 1968. – 166с.
28. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / Вильсон А.Дж.; пер. с англ. – М.: Наука, 1978. – 248с.
29. Гук В.І. Транспортні потоки: теорія та її застосування в урбаністиці: монографія / Гук В.І., Шкодовський Ю.М. –Харків: «Золоті сторінки», 2009. - 232с.

30. Гухман А.А. Введение в теорию подобия: учеб.пособие для вузов [изд. 2-е доп. и перераб.] /Гухман А.А. – М.:Высшая школа, 1973. – 296с.
31. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / Сигорский В.П. – К.: Техніка, 1975. – 768 с.
32. Шарапов О.Д., Дербенцев В.Д., Семьонов Д.Є. Системний аналіз. Київ: КНЕУ, 2003. 154 с.
33. Подлесный Н.И., Рубанов В.Г. Элементы систем автоматического управления и контроля: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. Киев: Вышшая школа, 1991. 461 с.
34. Абрамова Л.С. Проектирование систем управления дорожным движением. «Комп'ютерне моделювання в наукоємних технологіях»: праці науково-технічної конференції з міжнародною участю. ХНУ ім. В.Н.Каразіна. Харків, 2010. С. 14-17.
35. ДСТУ ISO/IEC 38500:2016. Інформаційні технології. Управління ІТ в організації (ISO/IEC 38500:2015, IDT). [Чинний від 01.10.2017] – К: ДП «УкрЕЛЕКОН». 2016. 53 с. (Державний стандарт України).
36. Ujjval J. Solanki. Smart Urban Traffic Management System. *Trends in Transport Engineering and Applications*. Vol. 4, № 1, 2017. PP 48-55.
37. Абрамова Л.С. Модели управления дорожным движением для АСУДД. *Вісник ХНАДУ*. 2010. №50. С. 57-63.
38. T. Henzinger and S. Sastry, eds. Hybrid Systems: Computation and Control. New York: Springer Verlag, 1998. № 1386 in LNCS.
39. Elnaz Namazi, Jingyue Li, Chaoru Lu. Intelligent Intersection Management Systems Considering Autonomous Vehicles: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*. Vol. 7. P. 91946– 91965. <https://doi.org/10.1109 / ACCESS.2019.2927412>.
40. Klebanov L., Rachev S. T., Fabozzi F. Robust and Non-Robust Models in Statistics. New York: Nova Scientific Publishers, 2009. 307 p.
41. Edwards J.S. Expert Systems in Management and Administration – Are they really different from Decision Support Systems? *European Journal of Operational Research*, 1992. Vol. 61. P. 114–121.

42. Литвиненко Т.П., Смілянець Л.В. Закордонний досвід проектування шляхів руху індивідуальних екологічних транспортних засобів. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) ПолтНТУ. 2013. Вип. 4(39). Т.2. С. 132-141.
43. Литвиненко, Т.П. Принципи включення велосипедного руху у вулично-дорожню мережу населеного пункту. Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. К.: КНУБА. 2012. – Ч. 3. – С.67 – 72.
44. Центр громадського здоров'я. Міністерства охорони здоров'я України. URL <https://phc.org.ua/news/show/kilkist-dtp-u-sviti-zrostaje-vooz>
45. Асоціація велосипедистів Києва. URL <http://avk.org.ua/2018/12/v-ukrajini-vpershe-rozrobyly-velosypedni-derzhavni-standarty/>
46. ДСТУ 2587:2021. Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги [Чинний від 2021-08-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. 142 с.
47. Литвиненко Т.П., Смілянець Л.В. Принципи містобудівної організації велоінфраструктури у середніх і великих містах. Міжнародний науково-техн. збірник. 2011. Вип.8.. Відп. ред. В. М. Губарь. – П: ПЕП.
48. Електронний ресурс видання «Дзеркало тижня». URL <https://zn.ua/ukr/UKRAINE/u-politsiji-opriljudnili-statistiku-smernosti-v-dtp-v-2020-rotsi.html>.
49. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування [Чинний від 26.05.2021]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. 144 с.
50. Албул С. В., Ніколаєв О. Т., Шелехов А. О. Організація і тактика несення служби на блокпостах в умовах антитерористичної операції: метод. рек. – Одеса: ОДУВС, 2014 – 34 с.
51. Вулиці та дороги населених пунктів. ДБН В.2.3-5:2018. – К.: Мінрегіонбуд України, 2018. 61 с. – (Державні будівельні норми України).
52. Керування швидкістю: Посібник з безпеки дорожнього руху для керівників та фахівців Глобальне партнерство дорожньої безпеки. Програма при Міжнародній Федерації товариств Червоного Хреста та Червоного Напівмісяця, 2008, - 164 с.,

www.GRSProadsafety.org.

53. Абрамова Л.С. Аудит безпеки дорожнього руху: підручник / Л.С. Абрамова, І.С. Наглюк, В.В. Ширін, Г.Г. Птиця, С.В. Капінус; під заг. ред. І.С. Наглюка. – Х.: ХНАДУ, 2016. – 260 с.
54. PIARC: XXth World Road Congress. Montreal, 3 – 9 September. / Transportation and Urban Space Planning. / National Reports. 20.22.E – 1995. – 487 p.
55. Millenium book. IFR, Paris, 2001. – 174 p.
56. <http://www.ite.org/traffic/tcstate.htm>
57. <http://www.carfree.com>
58. <http://www.fhwa.dot.gov/environment/tcalm>
59. <http://www.trafficcalming.org>
60. Oxfordshire County Council. Best practice guides. No.3 Bus priority [http:// www.oxfordshire.gov.uk/index/environment_and_travel/travel/centre_of_excellence.htm](http://www.oxfordshire.gov.uk/index/environment_and_travel/travel_centre_of_excellence.htm)
61. [http://www.pps.org/downtownnyc/Traffic Calming.htm](http://www.pps.org/downtownnyc/TrafficCalming.htm)
62. PIARC: Reduction of car traffic in city centers. Reference : 10.01.B, Routes/ Roads 1990. – P. 1 – 48.
63. ДСТУ 4123:2020 Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги.
64. PTV Vissim 10. User Manual [Електронний ресурс] User Guide Search Engine. Режим доступу: <http://surl.li/frqbf>.
65. Лановий О.Т. Теоретичні основи та практичні методи забезпечення умов безперевного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг [Текст]: дис. .. докт. техн. наук : 05.22.01 / Лановий Олександр Тимофійович. – К. : НТУ, 2016. – 399 с.
66. Системологія на транспорті. Кн. 1: Основи теорії систем і управління / [Гаврилов Е. В., Доля В. К., Лановий О. Т. та ін.] ; під ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2005. – 344 с.

67. Мохамед Д. Методичне забезпечення оптимізації пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів (на прикладі міста Харків) // Зб. наук. пр. НУК. – Миколаїв : НУК, 2022. – № 2 (489). – С. 47–52.
68. Yu W., Zhang Y., Ai T., Guan Q., Chen Z., Li H. (2020). Road network generalization considering traffic flow patterns. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(1), 119-149.
69. Пилипчук, В. Автомобільні тренажери як засіб підвищення безпеки дорожнього руху. *Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського. Серія: Педагогіка, психологія, соціальна робота*, 4(2), 2020, с. 142-147.
70. Бондаренко, І. Розвиток та використання автотренажерів в системі навчання водіїв. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Технічні науки*, 1(359), 2019. – С. 52-57.
71. Лозинський, О., Кононов, В. Особливості застосування автотренажерів в підготовці водіїв. *Збірник наукових праць Національного авіаційного університету. Серія: Транспортний логістика*, 2(26), 2018, - с. 80-85.
72. Лісовий, А., Мельник, О. Використання автотренажерів у процесі навчання майбутніх водіїв. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, 3(77), 2017.- с. 99-105.
73. Шульга, А., Литвинова, Л. Вплив використання автотренажерів на якість підготовки водіїв. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба*, 2(49), 2016.- с. 131-135.
74. Chai Hua. Road safety on four continents: 16th international conference, Beijing, China, 15-17 May 2013. *Proceedings*.
75. Ernest Kisingo, Ndyetabura Hamisi, Hashim U. Iddi, Baraka J. Maiseli. Multi-Vehicle Speed Estimation Algorithm Based on Real-Time Inter-Frame Tracking Technique. *Tanzania Journal of Science* 47(3): 1125-1137, 2021. DOI: 10.4314/tjs.v47i3.22.
76. V. Markevicius, D. Navikas, D. Miklusis, D. Andriukaitis, A. Valinevicius, M. Zilys, M. Cepenas. Analysis of Methods for Long Vehicles Speed Estimation Using

Anisotropic Magneto-Resistive (AMR) Sensors and Reference Piezoelectric Sensor. Engineering Sensors Published 1 June 2020. DOI:10.3390/s20123541.

77. Muhammad Akram Adnan, Norliana Sulaiman, Nor Izzah Zainuddin, Tuan Badrol Hisham Tuan Besar. Vehicle speed measurement technique using various speed detection instrumentation. Conference Paper. April 2013. DOI: 10.1109/BEIAC.2013.6560214.
78. M. S. Temiz , S. Kulur, S. Dogan. Real Time Speed Estimation from Monocular Video. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2011. pp. 427-432.
79. Gaurav Manori, Gurpreet Singh, Mahak Dushad, M. Vinod, Pallavi Choudekar, Vijay Kumar Tayal. Acoustic Detection of Rear Approaching Vehicles for Cyclists. International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC), 2018. DOI: 10.1109/PEEIC.2018.8665557.
80. Saleh Javadi, Mattias Dahl, Mats I. Pettersson. Vehicle speed measurement model for video-based systems. Computers & Electrical Engineering. Volume 76, June 2019, Pages 238-248. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2019.04.001.
81. K. Zin, May Zin Tun. Implementation of Doppler Radar-Based Vehicle Speed Detection System. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD). Volume 3 Issue 5, August 2019. DOI:10.31142/ijtsrd26653.
82. Arash Gholami Rad1, Abbas Dehghani and Mohamed Rehan Karim. Vehicle speed detection in video image sequences using CVS method. International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(17), pp. 2555-2563, 18 December, 2010.
83. Siddharth Jhumat, Ravindra Kumar Purwar. Techniques to Estimate Vehicle Speed. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Vol. 3, Issue 6, June 2014.
84. Oshadhi Kaushalye Herath, Praveen Amarajeewa, Buddhi Ayesha, Sivakumar Thillaiampalam. A Comparison of Speed Data by Different Speed Detection Techniques. Conference: Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.13, 2021.

85. Зеленський А.А. Актуальність та огляд сучасних методів розпізнавання дорожніх ситуацій в задачах автоматизованого управління автотранспортними потоками // Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 55)" / Збірник тез доповідей: випуск 55 (м. Тернопіль, 9 лютого 2021 р.). – Тернопіль. – 2021. – 90 с. URL Інтернет-конференції: <http://www.konferenciaonline.org.ua/>.
86. Абрамова Л. С. Визначення балансу між параметрами дорожнього руху / Л. С. Абрамова, С. В. Капінус // Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектура. - 2018. - Вип. 140. - С. 91-97. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_140_18.
87. Ширін В. В. До питання розвитку автоматизованих систем управління дорожнім рухом / В. В. Ширін // Автомобильный транспорт. - 2015. - Вып. 37. - С. 78-84. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/at_2015_37_13.
88. Форнальчик Є. Ю. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія / Є.Ю. Форнальчик, І.А. Могила, В.Е. трушевський, В.В. Гілевич; за заг. ред. Є.Ю. Форнальчика. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 236 с.
89. Автоматизована система керування дорожнім рухом Режим доступу: <https://www.sea.com.ua/ua/svetofornaya-produkciya/kompleksnaa-sistema-upravlenia-doroznym-dvizeniem/>.
90. Автоматизована система керування дорожнім рухом в місті Києві. Режим доступу: <https://rtmc.kyivcity.gov.ua/zamovlennja-tehnicnih-zasobiv-reguljuvannja-dorojnogo-ruhu>.
91. У Дніпрі оператори пункту керування АСКДР віддалено контролюють роботу світлофорів міста. Режим доступу: <https://dnipro.tv/news-dnipro/u-dnipri-operatoriy-punktu-keruvannia-askdr-viddaleno-kontroliuiut-robotu-svitloforiv-mista/>.
92. Місто розумних та жорстких. Як регулюють світлофори у Львові. Режим доступу: https://tvoemisto.tv/exclusive/navishcho_lvovu_svitlofory_96844.html.
93. Статистика ДТП в Україні. Патрульна поліція: веб-сайт. URL:

<https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 23.02.2023).

94. Лобашов О.О., Прасоленко О.В. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. Харків, 2011. 221 с.
95. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / Бакуліч О.О. та ін.; за ред. В.П. Поліщука. Київ. 2014 467 с.
96. Для чого потрібні засоби заспокоєння дорожнього руху. *Дивись INFO*: веб-сайт. URL: <https://dyvys.info/2021/05/13/dlya-chogo-potribni-zasoby-zaspokoyennya-dorozhnogo-ruhu/> (дата звернення: 10.04.2023).
97. ДСТУ 4123:2020. Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2020-08-06]. ДП «УкрНДНЦ», 2020. 43 с.
98. Любий Є. В., Левченко О. С., Сиромятнікова М. С. Аналіз ефективності використання міні-кільцевих розв'язок. *Луцький національний технічний університет*. 2018. Вип. 61. С. 110 – 117.
99. 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.
100. Іванов В. О. Розподілена система імітаційного моделювання дорожнього руху. *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2008. № 48. С. 41–45.
101. 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)