

УДК 656.11

№ держ. реєстрації 0125U003605

Інв. №

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)

61002, м. Харків-02, вул. Ярослава Мудрого, 25
тел. (057) 707-37-06

ЗАТВЕРДЖУЮ

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



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

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

Юрій БЕКЕТОВ

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

Іван НАГЛЮК

СПИСОК АВТОРІВ

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



Іван Наглюк
(розділ 1, загальне
редагування)

Д-р техн. наук, професор



Людмила Абрамова
(розділ 5)

Канд. техн. наук, доцент



Ольга Холодова
(розділ 2)

Канд. техн. наук, доцент



Олена Запорожцева
(розділ 4)

Канд. техн. наук, доцент



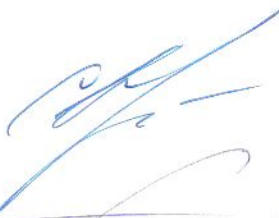
Валерій Ширін
(розділ 6)

Канд. техн. наук, доцент



Геннадій Птиця
(розділ 7)

Канд. техн. наук, доцент



Сергій Капінус
(розділ 8)

Канд. техн. наук, доцент



Анатолій Бажинов
(розділ 9)

Канд. техн. наук, доцент



Олександр Рябушенко
(розділ 10)

Ст. викл.



Марина Бугайова
(розділ 12)

Ст. викл.



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

Ст. викл.



Олена Левченко
(розділ 11)

Відділ акредитації, стандартизації
та якості навчання



Лада Чернова

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 179 с., 54 рисунка, 14 таблиць, 125 джерел.

ПАСИВНА БЕЗПЕКА АВТОМОБІЛЯ, ДОРОЖНІ ЗНАКИ, ТРАНСПОРТНЕ ПЛАНУВАННЯ, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ПОКАЗНИКИ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ШВИДКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ, МОДЕЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ДОРОЖНІ ПАГОРБИ, СВІТЛОФОРНЕ РЕГУЛЮВАННЯ

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

Розглянуто шляхи вирішення питання підвищення безпеки на дорогах, досліджено зміни обсягів транспортного екологічного навантаження на прикладі м. Харків. Розглянуто питання сталого розвитку транспортної інфраструктури у великих містах із урахуванням динаміки транспортних потоків. Досліджено вплив окремих факторів та особливостей організації дорожнього руху на розподіл швидкостей автомобілів у потоці. Визначена оцінка впливу елементів дорожньої та пішохідної інфраструктури на ефективність функціонування перехресть з урахуванням нових типів світлофорів.

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

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

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

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Роль пасивної безпеки автомобіля у підвищенні безпеки руху	8
2 Вплив дорожніх знаків на організацію та ефективність роботи перехрестя	16
3 Аналіз підходів до транспортного районування території міста при моделюванні транспортних мереж міст	37
3.1 Делімітація транспортних мегарайонів	42
3.2 Визначення середньозважених координат центрів транспортного тяжіння	44
4 Особливості взаємозв'язку інтенсивності та швидкості в транспортному потоці	48
5 Механізми інтеграції цілей сталого розвитку в стратегічне планування заходів безпеки дорожнього руху	60
6 Аналіз принципів забезпечення безпеки дорожнього руху в міських умовах та на дорогах загального користування	71
7 Управління швидкістю як механізм балансування безпеки дорожнього руху та ефективності при плануванні міської дорожньої мережі	82
8 Імітаційне моделювання при проєктуванні елементів вулично-дорожньої мережі	88
9 Методика аналізу та прогнозування забезпечення умов безперервного, безпечного і зручного руху та оцінки ефективності функціонування транспортної системи «Автомобільні дороги державного та місцевого значення – Національні та міжнародні транспортні потоки»	98
10 Дослідження впливу особливостей організації руху на розподіл швидкостей автомобілів в вільних умовах	111
10.1 Постановка проблеми та актуальність дослідження	111
10.2 Аналіз публікацій щодо впливу функціонального типу вулиць і дорожніх умов на швидкість вільного руху	113

10.3 Теоретичні передумови впливу функціонального типу вулиці та особливостей ОДР на вільну швидкість	115
10.4 Описання методики експериментальних досліджень	120
10.5 Аналіз результатів експериментальних досліджень	124
10.6 Аналіз форми розподілів швидкостей вільного руху	128
11 Аналіз безпекових, економічних та соціальних наслідків в результаті змін технічних умов до світлофорних пристроїв згідно ДСТУ 4092-2024	134
12 Моделювання впливу параметрів дорожніх пагорбів на роботу нерегульованого перехрестя	147
Висновки	160
Перелік посилань	167

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;
- вплив дорожніх знаків на ефективність роботи перехрестя;
- аналіз підходів до транспортного планування при моделюванні транспортних мереж великих та значних міст;
- напрямки забезпечення сталого розвитку транспортної інфраструктури у містах;
- розробка моделей розподілу швидкості автомобілів потоці;
- шляхи застосування імітаційного моделювання вулично-дорожньої мережі та транспортних потоків на ній для задач підвищення безпеки дорожнього руху;
- вплив швидкісного режиму на показники якості дорожнього руху;
- оцінка переваг нових типів світлофорів, зокрема, їх вплив на безпеку руху пішоходів.

1 РОЛЬ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛЯ У ПІДВИЩЕННІ БЕЗПЕКИ РУХУ

Успішне рішення проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху потребує комплексного підходу, спільного зусилля значної кількості міністерств, відомств, громадських організацій, заінтересованої участі усіх членів товариства.

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, екологічну та кібербезпеку транспортного засобу [1- 9].

Пасивна безпека дороги, автомобіля проявляється в тих випадках, коли у водія відсутня можливість запобігти дорожньо-транспортним пригодам (ДТП) через втрату автомобілем стійкості (занос, перекидання) або дестабілізації елементів його системи (переміщення важкого вантажу в кузові або занос причепа), недосвідченості, стомлення, фізичних вад, раптового погіршення здоров'я. При втраті автомобілем маневреності та керованості, що може бути наслідком недоліків його конструкції, технічної несправності, незадовільного стану окремих агрегатів і систем автомобіля. У цих ситуаціях водій стає пасивним учасником подій, і тяжкість наслідків ДТП залежить в основному від конструктивних особливостей автомобіля, швидкості його руху, параметрів автомобільної дороги, використання водієм і пасажирями ременів безпеки. У системі пасивної безпеки автомобіля треба розглядати наступні елементи – двигун та агрегати які відводяться під днище автомобіля, рульова колонка, що складається, травмобезпечний педальний вузол, міцний каркас салону автомобіля, безпечно скло, активні підголівники сидінь, енергопоглинаючі елементи передньої й задньої частин кузова та інтер'єру салону, ремені та подушки безпеки, системи оповіщення екстрених служб та інші.

Ступінь впливу властивостей автомобіля і дороги, що забезпечують пасивну безпеку, неоднакова для різних видів ДТП. При наїзді автомобіля на пішохода зовнішня пасивна безпека транспортного засобу оцінюється тим, наскільки ретельно

при конструюванні автомобіля враховані фактори, що сприяють зниженню тяжкості тілесних ушкоджень: чи дотримана певна послідовність нанесення удару (в ногу, таз, груди, голову); чи забезпечена достатня тривалість силового контакту елементів транспортного засобу з пішоходом; чи вжиті заходи щодо утримання тіла на капоті легкового автомобіля або зниження висоти, з якої тіло падає на проїжджу частину після переміщення по капоту [2].

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 [5, 9].

Внутрішня пасивна безпека знижує травматизм водія і пасажирів, забезпечує збереження вантажів, що перевозяться автомобілями. Зовнішня пасивна безпека зменшує можливість нанесення пошкоджень іншим учасникам дорожнього руху. Основа сучасного захисту людей у салоні автомобіля складає каркас кузова ("каркас безпеки" для водія та пасажирів), якій поглинає енергію удару за рахунок деформації (рис. 1.1). Для кузова використовують міцні дуги безпеки та роблять посилені передні стойки даху. Виготовляють м'які, травмобезпечні деталі інтер'єру салону автомобіля. Вони повинні бути без гострих кромek, кутів і ребер, а також при руйнуванні ні створювали гостри уламки [5].

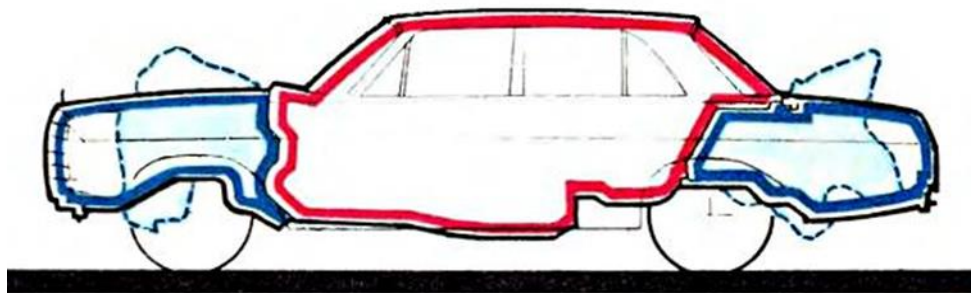


Рисунок 1.1 – Зони кузова автомобіля які деформуються

Під зовнішньою пасивною безпекою розглядається можливість автомобіля запобігати ушкодженню пішоходів зовнішніми гострими поверхнями кузова автомобіля та окремими деталями. Фари та дзеркала при зіткненні з людиною легко відламуватися та наносити мінімальну травму. Ручки дверей повинні бути втоплені в кузов автомобіля.

Засоби внутрішньої пасивної безпеки повинні бути травмобезпечні: рульові колонки при ударі складаються; сидіння закріплені та при ударі не повинні відриватися; ремені безпеки працюють одночасно з подушкою безпеки та підголівником; стекла при руйнуванні не повинні створювати гостри уламки.

Сучасна система пасивної безпеки автомобіля має електронне керування, що забезпечує ефективну взаємодію більшості компонентів. Система керування включає:

- вхідні датчики (два передні та два бокові для визначення напрямку удару, один контрольний);
- блок керування;
- виконавчі облаштування компонентів системи.

Вхідні датчики фіксують параметри, при яких виникає аварійна ситуація, та перетворюють їх у електричні сигнали.

Аналіз статистичних даних показує, що до 25 % від кількості ДТП пов'язано з наїздами на автомобіль, що рухається попутно попереду чи зупинений. Щоб зменшити тяжкість травм, треба обмежити переміщення голови водія чи пасажирів щодо тулуба. Для цього призначені підголівники. Підголівники — єдиний засіб захисту шиї від навантажень, обумовлених ударом в автомобіль ззаду.

Компанія Saab почала оснащувати окремі моделі своїх автомобілів підголівниками нового типу. Після попутного наїзду на автомобіль такий підголівник переміщався вперед і вгору до потилиці сидячої людини і мінімізував наявний просвіт. Підголівник приводила в дію сила, яка утискує спину сидячого в крісло, для чого на рівні попереку в спинку сидіння був вбудований підпір, пов'язаний з підголівником важелями. Система отримала назву SAHR — від фрази «SAAB Active Head Restraints». За даними досліджень система SAHR зменшує ризик отримання серйозних травм до 75 % [4 - 6].

На ринку представлені електронні системи, що призводять підголівники в дію по команді датчиків удару, змонтованих в задній частині автомобіля. Сьогодні електронно-активні підголівники серійно використовуються на деяких моделях Mercedes-Benz та Lexus.

Радар, який контролює простір перед автомобілем, дозволяє реалізувати й режим перед аварійної підготовки. Якщо зіткнення неминуче, електронний блок управління дасть команду на включення переднатягувачів ременів безпеки, та навіть автоматично від'єднає акумуляторну батарею після аварії, щоб уникнути короткого замикання в бортовій електричній мережі. До речі, при незначному зіткненні, коли ризику короткого замикання немає, система безпеки дозволяє продовжити рух. Все це вже застосовується на легкових автомобілях. Часто ДТП відбуваються через обмежену видимість прямо перед капотом або в районі дверей, тому автомобілі почали оснащувати телекамерами та радарамі, які контролюють простір в так званих «мертвих зонах». Якщо при спробі здійснити маневр в небезпечній близькості виявиться перешкода або інший транспортний засіб, водія попередять звуковий і світловий сигнали.

Встановивши спеціальну телекамеру, яка фіксує напрямок погляду водія та ще ряд параметрів, в тому числі частоту миготіння очей, а також додаткові датчики на рульовому колесі, можна «навчити» електронний блок управління завчасно визначати настання втоми у водія. Система в змозі зафіксувати момент, коли водій відволікається від керування автомобілем, і може привернути його увагу або включенням світлової доріжки, або звуковим сигналом.

Як правило, системи активної і пасивної безпеки автомобіля працюють незалежно одна від одного. У проекті APIA (Aktiv-Passiv-Integrations-Ansatz) фірма Continental пропонує об'єднання цих систем, що, на думку фахівців, запобіжить аварії або пом'якшить обумовлені аварією пошкодження. APIA використовує інформацію від усіх систем активної і пасивної безпеки, і на підставі цього визначає ступінь небезпеки [4, 5].

APIA заснована на обміні даними між усіма системами активної і пасивної безпеки автомобіля. У аварійний процесор стікається вся інформація про дії водія, характер руху автомобіля і дорожніх умовах. При русі процесор розраховує потенціал небезпеки, який відображає можливість аварії в даний момент. Якщо цей потенціал перевищує допустимі значення, аварійний процесор поетапно вживає захисні заходи:

- оптичне або інше попередження водія;
- попередня готовність гальмівного контуру для прискорення спрацьовування гальмівних механізмів;
- активізація натягувача ременів безпеки для усунення їх нещільного прилягання;
- закриття бічних вікон та люка в даху;
- активне гальмування з прискоренням до $0,3 \cdot g$;
- зміщення передніх сидінь в положення, оптимальне для спрацьовування надувних подушок безпеки.

При натисканні водієм педалі гальма і по швидкій зміні ноги з педалі акселератора на гальмо датчики розпізнають початок гальмування: прискорювач негайно починає працювати з максимальним тиском в приводі; натягувачі ременів безпеки активізуються в максимальному ступені. Якщо зіткнення, проте, відбувається, аварійний процесор залежно від тяжкості та типу аварії пускає в хід адаптивні подушки безпеки (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Подушка безпеки після спрацювання

Для реалізації проекту APIA автомобіль має бути обладнаний гальмівною системою з незалежним управлінням з ESP та круїз-контролем. Для поліпшення пасивної безпеки при відсутності інформації від датчиків аварійний процесор спирається тільки на інформацію від прискорювача початку гальмування, система ARP (Activ Rollover Protection) запобігає перекидання автомобіля і, відповідно, може приймати менш відповідальні рішення.

Ремінь безпеки звичайного типу, безумовно, виручає при аваріях. Однак при сильних ударах корпус водія вислизає з під ременя, приводячи до травматизму. Фахівці SAAB запропонували систему безпеки з двох плечових ременів SSB (Saab Supplementary Belt). Додатковий ремінь із двох точковим кріпленням проходить через плече і охоплює груди водія або переднього пасажирів і закріплюється у верхній частині спинки кожного сидіння.

Застосування ременя безпеки запобігає переміщенню пасажирів по інерції, і, відповідно, можливим його зіткненням з деталями інтер'єру транспортного засобу або з іншими пасажирів (так звані вторинні удари), а також гарантує, що пасажир перебуватиме в положенні, що забезпечує безпечне розкриття подушок безпеки. Крім цього, ремені безпеки при аварії дещо розтягуються, тим самим поглинаючи кінетичну енергію пасажирів і додатково гальмуючи його рух, і розподіляють зусилля

гальмування на велику поверхню. Розтягування ременів безпеки здійснюється за допомогою пристроїв подовження і амортизації, забезпечених енергопоглинаючими засобами. Можливе також використання в ременях безпеки автоматичних пристроїв створення натягу. Ремені безпеки зменшують ризик загибелі водія і пасажирів залежно від типу аварії від 2 (лобове і бокове зіткнення) до 5 разів (перекидання). В Україні згідно з Правилами дорожнього руху використання ременів безпеки є обов'язковим для водія і всіх пасажирів, в том числі тих, що перебувають на задньому сидінні. Дозволяється не пристібатися особі, яка навчає водінню, якщо за кермом учень, а в населених пунктах, крім того, водіям-інвалідам, водіям і пасажирам оперативних та спеціальних транспортних засобів і таксі [6, 7]. Аналіз результатів обстеження показує, що в період з 2015 по 2025 рік відсоток ігнорування ременів безпеки водіями автомобілів зменшується і коливається від 45 % до 86 % (рис. 1.3).

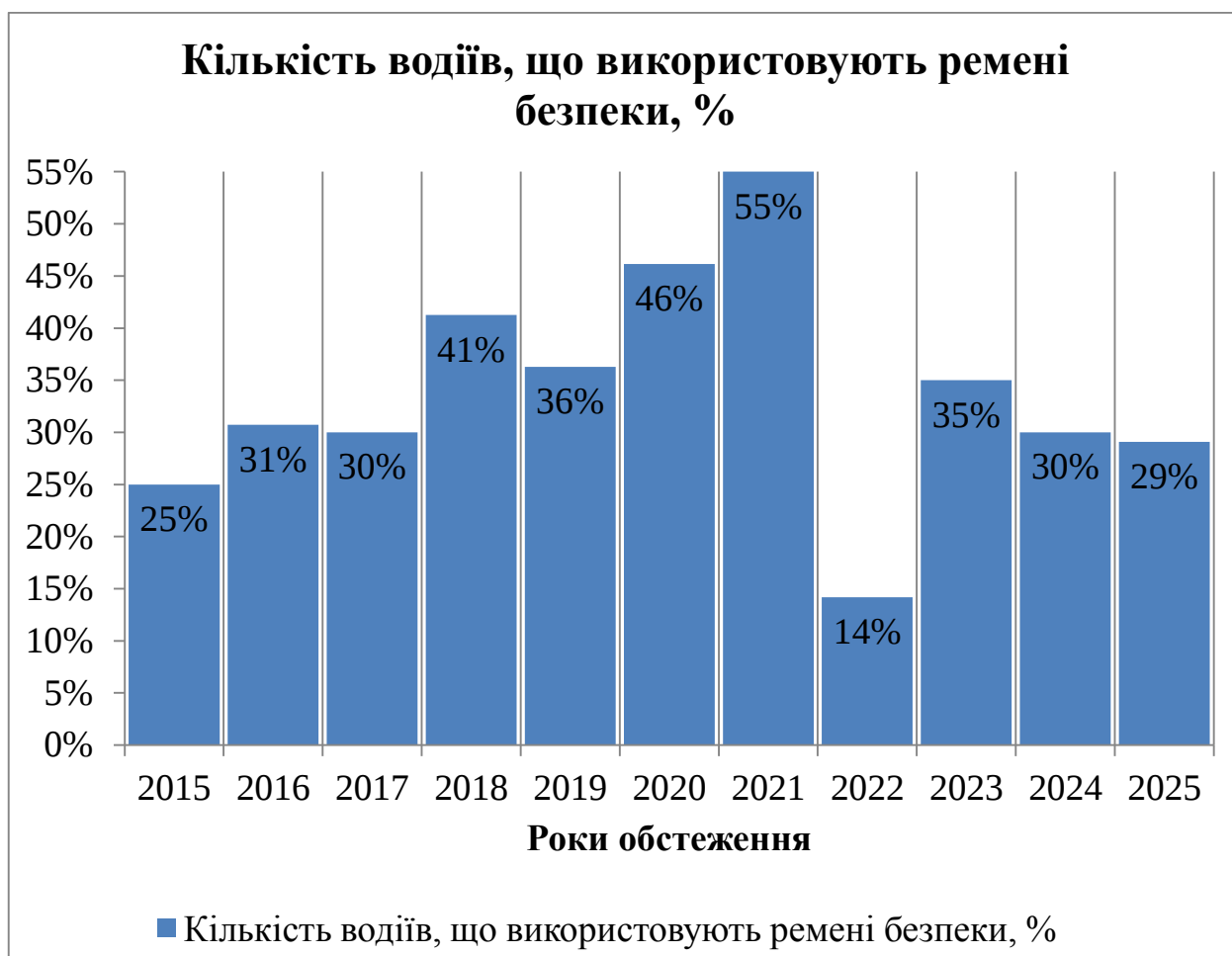


Рисунок 1.3 – Кількість водіїв що використовують ремінь безпеки у м. Харків

Середня кількість пристебнутих водіїв у 2025 році в м. Харків на 20 автомобілів складає 5,8 водіїв, що становить лише 29 %.

За умови безперервного вдосконалення конструкцій автотранспортних засобів та використання електронних систем для підвищення безпеки людини при ДТП необхідно як узагальнення так і розробка нових концепцій зближення теорії та практики забезпечення безпеки дорожнього руху. На сьогоднішній день необхідно приділяти увагу інформаційній системі безпеки, що включає в себе протиугінні системи, прилади та датчики відображення достовірної інформації.

Робота з підвищенням самосвідомості водіїв та громадян в Україні має обов'язково продовжуватися 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.

2 ВПЛИВ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ НА ОРГАНІЗАЦІЮ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПЕРЕХРЕСТЯ

В сучасних умовах зростання інтенсивності дорожнього руху та збільшення кількості транспортних засобів (ТЗ) роблять проблему безпеки на дорогах особливою. Однією з основних причин (ДТП) є незадовільна організація дорожнього руху (ОДР), яка охоплює комплекс заходів щодо регулювання, управління та контролю транспортних потоків (ТП). Важливу роль у забезпеченні належного рівня безпеки та ефективності руху відіграє дорожня сигналізація, зокрема дорожні знаки. Їх правильне доцільне розташування, відповідність чинним нормам та належний технічний стан є важливими факторами, що сприяють зниженню аварійності та покращенню умов пересування.

Аналізуючи причини ДТП, можна виокремити такі аспекти, як недостатня видимість знаків, їх невідповідність нормативним вимогам, надмірна або недостатня кількість інформації для водіїв, що призводить до помилкових рішень та порушень правил дорожнього руху (ПДР). У зв'язку з цим виникає необхідність детального дослідження впливу якісного облаштування дорожніх знаків на ефективність функціонування перехресть, оскільки саме на цих ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ) спостерігається висока концентрація ТП та потенційно небезпечних ситуацій.

Дорожні знаки є ключовими елементами інформаційного забезпечення учасників руху. Вони відіграють вирішальну роль у підвищенні безпеки, попередженні аварійних ситуацій та регулюванні ТП. Їхній вплив на функціонування перехресть та рух у містах є значущим фактором, що потребує детального вивчення.

Оскільки було зазначено, що дорожні знаки є одним із ключових елементів ОДР, їх вплив на безпеку та ефективність руху привертає увагу багатьох дослідників у всьому світі. Наукові роботи в цій сфері зосереджуються на оцінці сприйняття знаків водіями, їхньому впливі на поведінку учасників руху, а також на оптимізації системи дорожньої сигналізації для підвищення безпеки та пропускну здатності

(ПС) доріг. Огляд літературних джерел дозволить проаналізувати сучасні підходи та результати досліджень, які стосуються цієї тематики, визначити основні тенденції та виявити аспекти, що потребують подальшого вивчення.

У статті [10] досліджено вплив додаткових дорожніх знаків на увагу водіїв та сприйняття основної навігаційної інформації на автомагістралях Німеччини. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що додаткові знаки не відволікають водіїв від основної інформації та не впливають негативно на швидкість реакції і рівень аварійності. Це свідчить про можливість використання супутніх інформаційних елементів без погіршення безпеки руху.

У роботах [11, 12] проаналізовано взаємозв'язок між дорожніми знаками та аварійністю на дорогах Хорватії. Встановлено, що низька видимість або неналежний стан знаків підвищують ризик ДТП, тоді як збільшення кількості попереджувальних і обов'язкових знаків сприяє його зниженню. Також доведено, що підвищення швидкісних обмежень корелює зі зростанням аварійності. Отримані результати підтверджують важливість якісного облаштування та утримання дорожніх знаків.

Окрему увагу в дослідженнях приділено дорожній розмітці як важливому елементу організації руху, що функціонує у взаємодії зі знаками. У роботі [13] показано, що ефективність багатьох заходів безпеки залежить від наявності якісної та видимої розмітки. Невідповідність її технічних характеристик, зокрема недостатній рівень ретрорефлексії, може суттєво знижувати безпеку руху.

У статті [14] на основі комплексного аналізу ДТП, польових досліджень та опитувань встановлено, що недостатня або неякісна дорожня сигналізація є причиною значної частки аварій. Це підтверджує ключову роль дорожніх знаків у забезпеченні безпеки та ефективності функціонування перехресть.

Дослідження [15] акцентує увагу на впливі візуального перевантаження дорожнього середовища на поведінку водіїв. Зокрема, встановлено, що сторонні візуальні об'єкти (наприклад, реклама) підвищують когнітивне навантаження, що може знижувати ефективність сприйняття дорожніх знаків.

У роботах [16, 17, 18] розглянуто вплив сприйняття та розуміння дорожніх знаків на безпеку руху. Показано, що ефективність знаків залежить не лише від їх

наявності, а й від зрозумілості, дизайну та відповідності когнітивним особливостям водіїв. При цьому окремі типи знаків можуть мати обмежений вплив на аварійність без урахування супутніх факторів.

У статтях [19, 20, 21] досліджено ефективність активних та вдосконалених знаків (зокрема LED та флуоресцентних). Встановлено, що такі рішення можуть покращувати поведінку водіїв і знижувати швидкість руху, однак їх ефективність залежить від умов застосування та не завжди є статистично значущою.

Роботи [22, 23, 24] присвячені поведінковим та психофізіологічним аспектам сприйняття знаків. Встановлено, що рівень розуміння знаків впливає на безпечність поведінки учасників руху, а також активізує когнітивні процеси контролю та уваги.

У дослідженнях [20, 25, 26] підкреслено важливість технічного стану та відповідності знаків стандартам. Погана видимість, невідповідність розміщення або зношеність значно знижують їх ефективність і можуть призводити до зростання аварійності. Водночас показано, що маловитратні інженерні заходи здатні суттєво підвищити рівень безпеки дорожнього руху.

Таким чином, аналіз наукових джерел свідчить, що дорожні знаки та інші елементи дорожньої сигналізації мають суттєвий вплив на безпеку та ефективність ОДР. Водночас їх ефективність визначається не лише фактом наявності, а й якістю виконання, видимістю, зрозумілістю для учасників руху та узгодженістю з іншими елементами транспортної інфраструктури, що необхідно враховувати при дослідженні функціонування перехресть.

З огляду на викладене, дане дослідження спрямоване на підвищення ефективності функціонування перехресть шляхом аналізу та вдосконалення дорожньої сигналізації, зокрема системи дорожніх знаків. Об'єктом дослідження є дорожній рух на перехресті, а предметом — вплив дорожніх знаків на ключові показники ефективності його функціонування. Для якісного аналізу впливу дорожніх знаків на безпеку та ефективність руху на регульованому перехресті необхідно визначити ключові вхідні параметри, що враховуються при моделюванні в середовищі PTV VISSIM, яке є сучасним, одним із найпотужніших інструментів та передовою мікроскопічною системою імітаційного моделювання дорожнього руху.

Тож, до вхідних параметрів для моделювання дорожнього руху на регульованому перехресті відносяться: геометричні характеристики перехрестя (кількість підходів, ширина смуг руху, наявність окремих смуг для поворотів, довжина накопичувальних смуг); тип і режими роботи світлофорного регулювання (тривалість фаз, цикл регулювання, тип управління); інтенсивність ТП (обсяги руху в годинах пік та міжпіковий період, розподіл ТЗ за напрямками); характеристики ТП (склад ТП, розподіл швидкостей ТЗ, частка ТЗ, що здійснюють поворотні маневри); поведінкові параметри водіїв (середній час реакції, схильність до ризикованої поведінки, дотримання правил пріоритету); розташування та вплив дорожніх знаків (їхня видимість, відстань до прийняття рішення водієм, відповідність знаків до реальних умов руху); дорожні умови (коефіцієнт зчеплення покриття, наявність нерівностей, погодні умови, рівень освітлення).

Серед усіх вхідних параметрів особливу увагу в даному дослідженні приділено дорожнім знакам, оскільки саме вони є основним фактором впливу на поведінку водіїв і ОДР на перехрестях. В дослідженні не застосовуються математичні методики для оцінки впливу знаків, оскільки основною метою є аналіз фактичного стану знаків, їх наявності, розташування та відповідності умовам руху. Дослідження ґрунтується на концепції "білого ящика", тобто розглядається безпосередня взаємодія знаків із ТП та поведінкою водіїв без складних аналітичних розрахунків. Це дозволяє оцінити реальний вплив дорожніх знаків на організацію руху та визначити можливі шляхи їх оптимізації. Дорожні знаки відіграють ключову роль у формуванні траєкторій руху ТЗ і поведінки водіїв на перехрестях. Їхній вплив можна розглядати за такими аспектами: регулювання ТП (заборонні та попереджувальні знаки сприяють зниженню аварійності, змушуючи водіїв змінювати швидкість чи обирати безпечні траєкторії); оптимізація швидкісного режиму (обмеження швидкості дозволяють уникати критичних точок конфлікту, зменшуючи ризик зіткнень); підвищення рівня прогнозованості маневрів (інформаційні та вказівні знаки допомагають водіям завчасно готуватися до зміни напрямку руху, знижуючи кількість різких гальмувань і змін смуг); вплив на увагу водія (наявність знаків безпеки змушує водія підвищувати концентрацію перед потенційно небезпечними ділянками); зменшення затримок

(правильне розташування знаків дозволяє знизити рівень нерішучості водіїв і збільшити ПС перехрестя).

Перераховані аспекти впливу дорожніх знаків є надзвичайно важливими для даного дослідження, оскільки вони безпосередньо пов'язані з оцінкою безпеки та ефективності функціонування регульованого перехрестя. Зокрема, регулювання ТП та оптимізація швидкісного режиму сприяють мінімізації конфліктних ситуацій, зменшенню кількості небезпечних маневрів і потенційних місць аварій. Завдяки цьому можна оцінити, наскільки ефективно дорожні знаки виконують свою функцію в забезпеченні безпеки руху. Підвищення рівня прогнозованості маневрів та вплив на увагу водія безпосередньо впливають на поведінку учасників руху, що є ключовим фактором у попередженні ДТП. Якщо водії заздалегідь отримують чітку інформацію про майбутні маневри та небезпеки, це суттєво знижує ризик екстрених ситуацій на перехресті. Крім того, зменшення затримок та підвищення ПС перехрестя безпосередньо впливають на його ефективність. Раціональне розташування та відповідність дорожніх знаків реальним умовам дозволяє зменшити нерішучість водіїв, що сприяє плавності руху та скороченню часу очікування. Таким чином, аналіз цих аспектів дає можливість оцінити не лише якість ОДР, а й запропонувати конкретні заходи для підвищення рівня безпеки та оптимізації трафіку на регульованих перехрестях.

Після моделювання дорожнього руху на перехресті в середовищі PTV VISSIM отримані результати аналізуються за такими ключовими показниками: затримки руху (середній час очікування перед проїздом через перехрестя для кожного ТЗ та окремих груп учасників руху); щільність ТП на підходах (ступінь завантаженості смуг, середня кількість ТЗ на одиницю часу, ступінь використання ПС); безпека руху (рівень конфліктних ситуацій (близькі до зіткнення маневри), аварійно-небезпечні місця, прогнозований рівень ДТП).

У даному дослідженні акцент зроблено лише на трьох ключових оціночних показниках, оскільки вони є основними для оцінки ефективності функціонування перехрестя та розробки рекомендацій щодо його оптимізації. Ці показники дозволяють дати комплексну оцінку роботи перехрестя з точки зору часу очікування

водіїв, завантаженості проїжджої частини та рівня безпеки. Для даного дослідження цього достатньо, оскільки його мета – зробити загальний аналіз і запропонувати заходи для покращення ситуації на перехресті без глибокого розгляду специфічних аспектів, таких як екологія або поведінка окремих категорій учасників руху. Проте, в ширшому контексті можна оцінювати перехрестя за значно більшою кількістю параметрів: екологічні показники (обсяг викидів CO_2 , NO_x та інших забруднюючих речовин; споживання пального ТЗ; вплив заторів на рівень забруднення повітря в зоні перехрестя); довжина заторів (максимальна довжина черги ТЗ на кожному підході до перехрестя); час розсіювання затору після виникнення перевантаження); затримки для пішоходів (час очікування пішоходів перед переходом дороги; частка пішоходів, які перетинають дорогу на червоний сигнал через надмірні затримки); комфортність руху (кількість зупинок кожного ТЗ перед перехрестям; рівень прискорень та гальмувань у потоці, що впливають на комфорт пасажирів); ПС (кількість ТЗ, що проходять через перехрестя за певний проміжок часу; використання смуг руху, розподіл потоків між смугами; ефективність роботи світлофорів; час простою через невдало налаштовані цикли світлофорного регулювання; коефіцієнт втрат зеленої фази через нераціональний розподіл часу сигналів); соціально-економічні фактори (витрати часу на затримки, що можуть бути переведені у грошовий еквівалент; втрати від підвищеного споживання пального через затори) тощо.

Таким чином, в дослідженні підхід сфокусований на трьох ключових аспектах, які є найбільш важливими для загальної оцінки ефективності роботи перехрестя. Проте, якщо дослідження потребуватиме більш глибокого аналізу, можна розглянути й інші параметри для повнішого розуміння ситуації та пошуку більш точкових рішень для покращення функціонування перехрестя. Отримані результати дозволяють оцінити ефективність функціонування перехрестя та розробити рекомендації щодо оптимального розміщення дорожніх знаків для підвищення безпеки та ПС ТП.

Тож, модель об'єкта дослідження наведена на рис. 2.1.

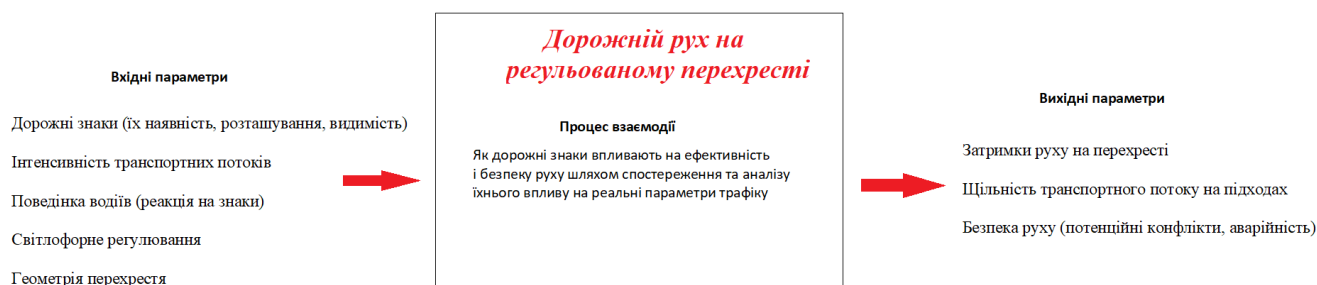


Рисунок 2.1 – Модель об’єкту дослідження

Як вже зазначалося, об’єктом моделювання є регульоване перехрестя, що передбачає наявність світлофорного управління. Однак, незважаючи на домінуючу роль світлофорної сигналізації, дорожні знаки залишаються критично важливими елементами ОДР, оскільки виконують функції інформування, попередження та регулювання поведінки водіїв. Враховуючи важливість дорожніх знаків у забезпеченні безпеки та ефективності руху на регульованих перехрестях, для їхнього детального аналізу необхідно застосувати сучасні методи дослідження. Одним із найбільш обґрунтованих підходів є імітаційне моделювання, яке дозволяє дослідити взаємодію ТП у реальних умовах та оцінити вплив дорожніх знаків на ключові параметри руху. У зв’язку з цим, наступний етап дослідження передбачає розробку імітаційної моделі перехрестя в програмному середовищі PTV VISSIM, що дозволить отримати кількісні показники ефективності та безпеки функціонування об’єкта за різних варіантів ОДР.

Для дослідження нами обрано два перехрестя Індустріального району м. Харків: вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова та просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького (див. рис. 2.2).

Обидва перехрестя є регульованими, де рух координується світлофорами, дорожні знаки виконують допоміжну функцію. Вони вказують напрямки руху, обмеження швидкості, заборони поворотів і додаткові вимоги для учасників руху.

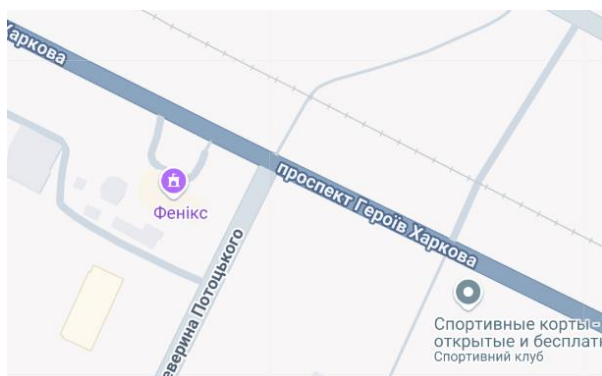
Однак ключову роль відіграють саме світлофори. Натомість світлофори можуть за різних обставин не працювати, і тоді на перехрестях дорожні знаки є основним засобом керування ТП. Вони визначають пріоритетність проїзду, попереджають водіїв про перетин другорядних та головних доріг, а також вказують обов’язкові

маневри. Наприклад, знаки 2.3 "Головна дорога" та 2.1 "Дати дорогу" критично важливі для уникнення конфліктних ситуацій та забезпечення плавного руху.

Перехрестя можуть мати різні конфігурації, що впливає на розташування та значущість дорожніх знаків:

1. Чотиристоронні перехрестя – найбільш поширений тип у міських умовах.

*вул. Северина Потоцького –
просп. Героїв Харкова*



*просп. Олександрівський –
бульв. Б. Хмельницького*

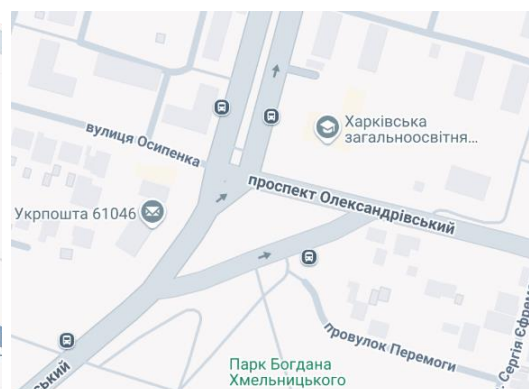


Рисунок 2.2 – Досліджувані перехрестя на карті м. Харків

Тут важливими є знаки пріоритету, заборони руху в певних напрямках, а також інформаційні знаки для навігації водіїв.

2. Т-подібні перехрестя – вимагають чітких вказівок щодо пріоритету руху, особливо якщо головна дорога змінює напрямок.

3. Кільцеві перехрестя – знаки 2.1 "Дати дорогу" та 4.10 "Круговий рух" відіграють визначальну роль, оскільки вони регулюють в'їзд на кільце і вихід із нього.

4. Перехрестя з виїздами з другорядних доріг – критично важливі попереджувальні знаки для водіїв, які наближаються до головної дороги.

Найпоширеніші проблеми, пов'язані з дорожніми знаками на перехрестях є:

1. Недостатня видимість знаків – через рослинність, неправильно встановлені рекламні конструкції або недостатнє освітлення в нічний час.

2. Незрозуміле або суперечливе розташування знаків – коли одночасно встановлені знаки можуть створювати неоднозначність для водіїв (наприклад, обмеження швидкості та знак пріоритету, що суперечать один одному).

3. Зношеність або відсутність знаків – призводить до хаотичного руху, особливо на нерегульованих перехрестях.

4. Невідповідність реальним дорожнім умовам – наприклад, коли знаки обмежень швидкості або пріоритету руху не відповідають фактичному трафіку або конфігурації дороги. Одним із яскравих прикладів є ситуація із застосуванням знака 4.6 "Рух праворуч або ліворуч" на Т-подібному перехресті, де другорядна дорога має односторонній рух у дві смуги. Прикладом цього є перехрестя вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова в м. Харків (див. рис. 2.3).

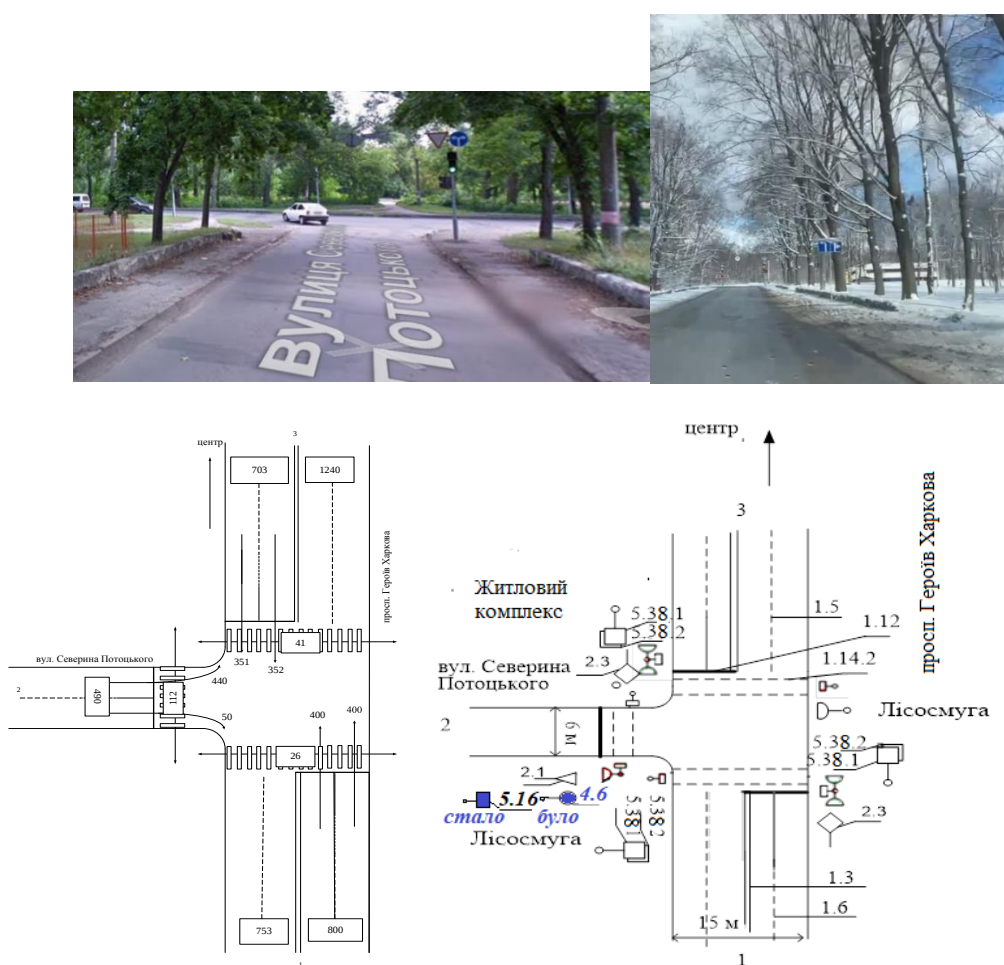


Рисунок 2.3 – ОДР на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова в м. Харків

У подібних випадках в годину пік трапляється значний дисбаланс потоків: близько 70 % водіїв повертають ліворуч (оскільки рух в цьому напрямку здійснюється в бік центру міста), тоді як лише 30 % обирають напрямок праворуч. Таким чином на

лівій смузі спостерігається достатньо велика кількість ТЗ, а тоді як сусідня права смуга є вільною. Згідно з ПДР, водії, які повертають ліворуч, мають право займати будь-яку смугу на головній дорозі після повороту. Унаслідок цього ті водії, які повертають ліворуч, часто займають праву смугу перед поворотом, оскільки це дозволяє їм швидше завершити маневр і продовжити рух у необхідному напрямку. Це, у свою чергу, створює конфліктну ситуацію: водії, які повертають ліворуч із правої смуги, можуть несподівано зіткнутися з тими, хто повертає з лівої смуги та має право займати будь-яку смугу на головній дорозі (див. рис. 2.4).

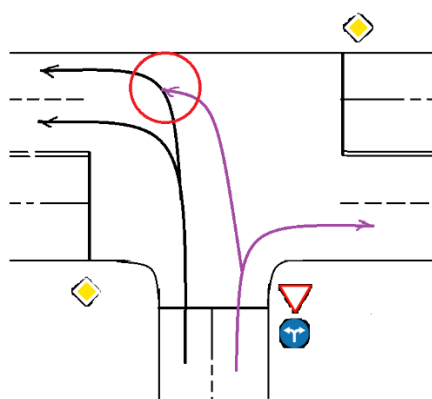


Рисунок 2.4 – Конфліктна зона перетину траєкторій ТЗ при повороті ліворуч із двосмугової другорядної дороги на головну дорогу (перехрестя вул. Северина Потоцького - просп. Героїв Харкова)

Особливо небезпечним міг би бути випадок, коли частина ТЗ із лівої смуги намагалась би також повернути праворуч, що однозначно ускладнювало би рух і підвищувало ризик ДТП. Виникає ситуація, коли водії, орієнтуючись на інтуїцію та власний досвід, приймають рішення, які можуть суперечити очікуваному сценарію руху інших учасників.

Для мінімізації подібних конфліктів необхідно розглядати комплексні рішення:

1. Використання додаткової розмітки – чітке нанесення стрілок на проїзну частину, що вказували б допустимі напрямки руху по смугах, зменшить кількість ситуацій неправильного вибору смуги перед поворотом.

2. Заміна знака 4.6 "Рух праворуч або ліворуч" на знак 5.16 "Рух по смугах" – у цьому випадку можна регламентувати, що з правої смуги дозволяється як правий, так і лівий поворот, але з обов'язковим виїздом у відповідну смугу на головній дорозі. Таким чином, з лівої смуги водії зможуть повертати лише в ліву смугу головної дороги, що усуне перетин траєкторій і значно знизить ризик ДТП (див. рис. 2.5).

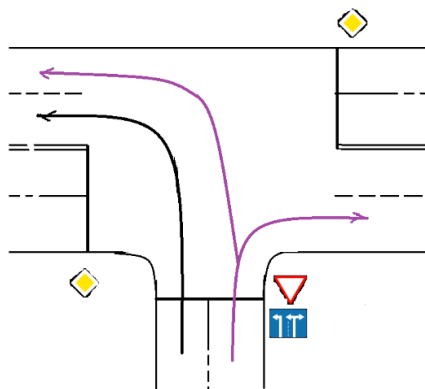


Рисунок 2.5 – Траєкторії ТЗ при повороті ліворуч із двосмугової другорядної дороги на головну дорогу

3. Встановлення світлофорного регулювання – запровадження окремих фаз світлофора для різних напрямків руху дозволить уникнути одночасного маневрування автомобілів у зонах конфлікту.

4. Адаптивні системи управління трафіком – використання технологій розпізнавання ТП для динамічного коригування фаз світлофорів або зміни схем організації руху в години пікового навантаження.

Ефективне використання дорожніх знаків на перехрестях залежить від типу перехрестя та умов його експлуатації. На нерегульованих ділянках їхня роль є визначальною, тоді як на регульованих вони виконують допоміжну функцію. Врахування конфігурації перехрестя дозволяє правильно розмістити знаки, що сприяє безпеці та покращенню ОДР. Заміна знака 4.6 "Рух праворуч або ліворуч" на знак 5.16 "Рух по смугах" може стати простим та ефективним рішенням для уникнення конфліктних ситуацій на Т-подібних перехрестях.

Ще один приклад, перехрестя Немишлянського району м. Харків – просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького, де на одному з підходів

знаків може призводити до плутанини серед водіїв, підвищення ризику ДТП та загального зниження безпеки на дорогах.

У багатьох країнах світу фіксуються випадки, коли невідповідні або неправильно встановлені дорожні знаки стають причиною ДТП. Наприклад, у Німеччині в 2020 році було введено новий дорожній знак 277.1, який забороняє обгін для автомобілів, мотоциклів та велосипедів. Однак через недостатню поінформованість водіїв та незвичність знака виникали ситуації, коли його ігнорували, що призводило до небезпечних ситуацій на дорогах [27].

Хоча конкретні статистичні дані про кількість ДТП, спричинених невідповідністю дорожніх знаків, можуть бути обмеженими, відомо, що такі випадки трапляються. Неправильне розташування знаків, їхня відсутність або суперечливість можуть стати причиною серйозних аварій. Наприклад, у деяких країнах Європи фіксувалися випадки, коли відсутність знаків пріоритету на перехрестях призводила до зіткнень ТЗ.

В Україні питання відповідності дорожніх знаків реальним умовам руху є надзвичайно актуальним. Неправильно встановлені або відсутні знаки можуть спричиняти плутанину серед водіїв, особливо на нерегульованих перехрестях. Це підвищує ризик ДТП та негативно впливає на загальну безпеку дорожнього руху. Згідно з ПДР України, водії повинні керуватися встановленими дорожніми знаками, особливо на нерегульованих перехрестях [0].

Однак, якщо знаки встановлені неправильно або не відповідають реальній ситуації на дорозі, це може призвести до небезпечних ситуацій. Невідповідність дорожніх знаків реальним умовам руху є серйозною проблемою, яка впливає на безпеку дорожнього руху як в Україні, так і в інших країнах. Для мінімізації ризиків необхідно забезпечити правильне встановлення та обслуговування дорожніх знаків відповідно до актуальних умов руху, а також проводити регулярний моніторинг їхньої відповідності стандартам.

Тож, наступним кроком дослідження є аналіз перехресть у міських умовах із різними схемами ОДР. Для обраних перехресть здійснено моделювання ТП із використанням спеціалізованого програмного забезпечення PTV VISSIM. Поки що,

на попередньому етапі досліджень, нами з'ясовано, що правильне розміщення та чітке позначення дорожніх знаків сприяє зменшенню кількості аварійних ситуацій на 25-40%. Також встановлено, що недостатня видимість знаків або їхня неправильна інтерпретація водіями може спричиняти затримки та порушення руху. Найбільш ефективними виявилися знаки, що забезпечують: раннє попередження про зміну режиму руху; чітке регулювання пріоритетності ТП; дублювання інформації іншими засобами (наприклад, дорожньою розміткою).

Для підвищення ефективності функціонування перехресть необхідно:

1. Оптимізувати розташування дорожніх знаків із урахуванням специфіки кожного перехрестя.
2. Використовувати сучасні технології, зокрема світлодіодні та електронні знаки, що підвищують їхню помітність.
3. Регулярно проводити аудит дорожніх знаків для виявлення застарілих, невидимих або таких, що вводять водіїв в оману.
4. Поєднувати знакове регулювання з іншими засобами організації руху, такими як розмітка, світлофори та інтелектуальні системи управління трафіком.

Отже, дорожні знаки є невід'ємною частиною ефективного функціонування перехресть, і їхнє грамотне використання може суттєво покращити транспортну ситуацію в містах.

До речі, в лютому 2025 року на перехресті вул. Северина Потоцького – бульв. Богдана Хмельницького було нарешті замінено знак 4.6 на 5.16, тому нами прийнято рішення продемонструвати, як змінюються показники ефективності дорожнього руху при цьому (див. рис. 2.2).

На рис. 2.7, 2.8 наведені фрагменти моделювання дорожнього руху в студентській версії PTV VISSIM 2025 року при різних схемах ОДР. Усі оціночні показники зводимо в підсумкові табл. 2.1 та 2.2.

Для обґрунтування впливу дорожніх знаків в програмному забезпеченні PTV VISSIM нами побудовані теплові карти щільності, які відображають, наскільки заповненим є певний відрізок дороги ТЗ в заданий момент часу або в середньому за симуляцію. На рисунках 2.9, 2.10 можна побачити колірну шкалу: темно-червоні зони

позначають високий рівень щільності (затори, зниження швидкості, можлива перевантаженість), жовті та зелені зони — середня щільність (помірний потік), сині та бліді зони — низька щільність (вільний рух, мінімальна кількість ТЗ).

На представлених схемах показані два варіанти ОДР. Наприклад, на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова: з використанням знаку 4.6 "Рух праворуч або ліворуч" та знаку 5.16 "Напрямки руху по смугах". На рисунку 4.1 видно три конфліктні точки (вказані червоними лініями), які виникають виключно через порушення ПДР. Це створює високий ризик ДТП та ускладнює рух транспорту з боку житлового комплексу. На рис. 4.2 ми бачимо, що знак 5.16 забезпечує чітке розмежування напрямків руху по смугах, що знижує ймовірність помилкових маневрів водіїв. Тут лише одна точка розділення потоку (на першій смузі), яка не є конфліктною в класичному сенсі, оскільки всі маневри відповідають дозволеним напрямкам. Такий підхід дозволяє зменшити кількість потенційних конфліктів у 3 рази, підвищуючи загальну безпеку та ПС перехрестя. Тобто, використання знака 5.16 є ефективнішим з точки зору ОДР, оскільки ліквідує порушення траєкторій; зменшує кількість конфліктних точок; поліпшує прогнозованість поведінки водіїв; підвищує безпеку для всіх учасників руху.

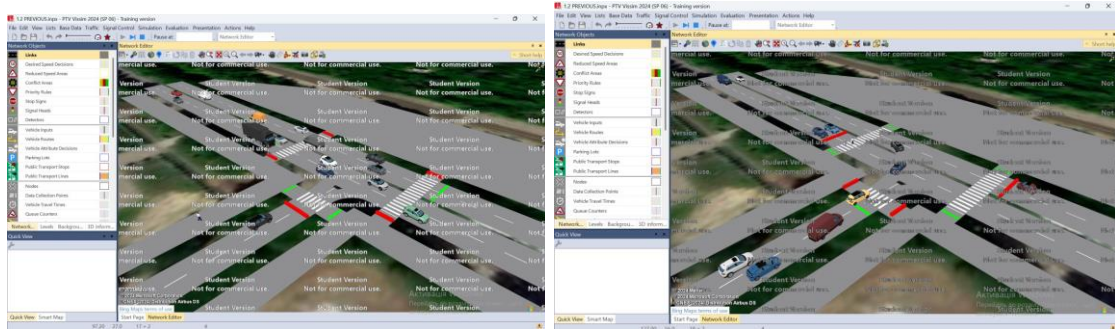
Таблиця 2.1 – Підсумкова таблиця (перехрестя вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова)

Показник	Номер варіанту схеми ОДР	
	Було	Існуючий
Середня затримка руху ТЗ на перехресті, с	22,76	8,62
Затримки руху пішоходів, с	5,17	5,18
Викиди шкідливих речовин, г :		
CO	274,527	183,53
NO _x	53,413	35,708
Летючі органічні сполуки	63,624	42,535
Складність перехрестя, m	5 - просте	1 - просте
Коефіцієнт відносної аварійності перехрестя, K _a та ступінь небезпеки	2,04 - безпечне	2,04 - безпечне

було (зі знаком 4.6)

1 фаза

2 фаза



існуючий (зі знаком 5.16)

1 фаза

2 фаза

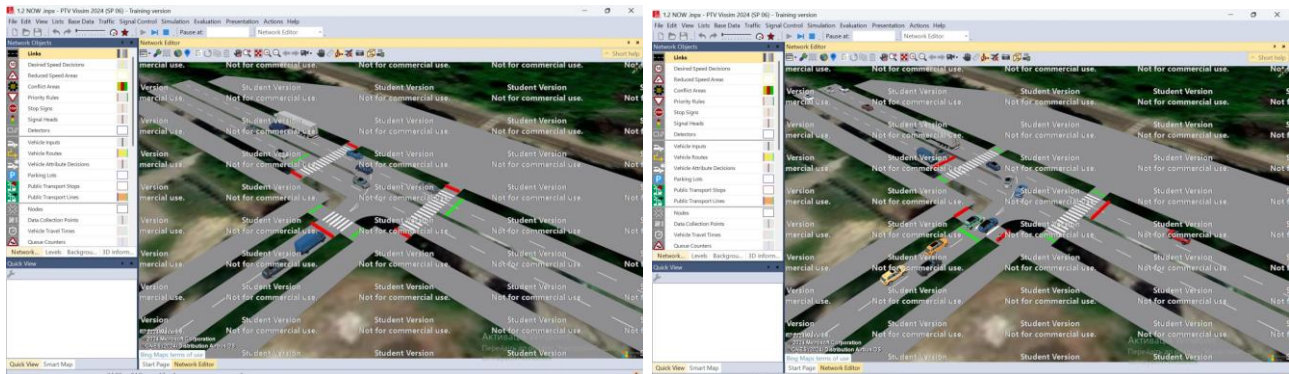
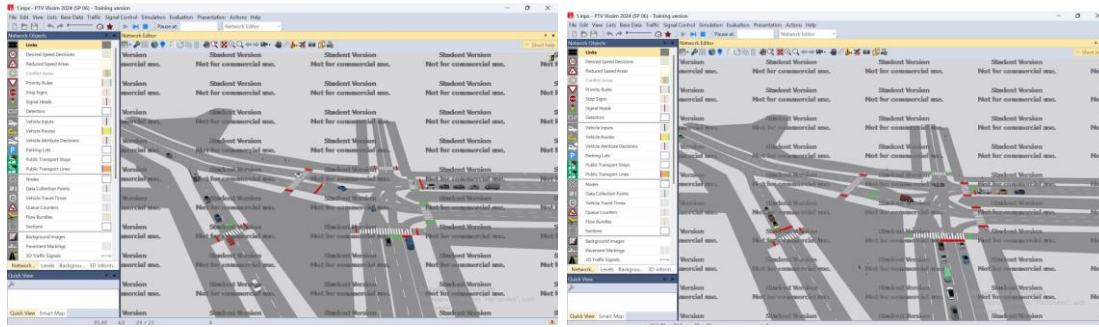


Рисунок 2.7 - Моделювання дорожнього руху на перехресті вул. Северина
Потоцького – просп. Героїв Харкова при різних схемах ОДР

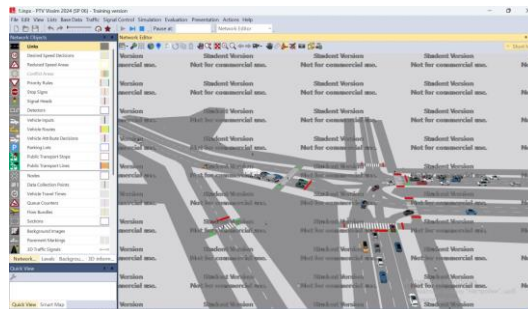
Існуючий (без знаку 5.16)

1 фаза

2 фаза



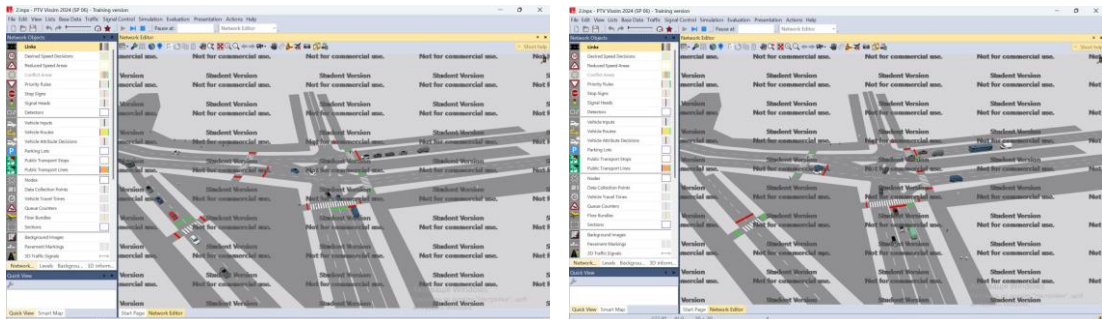
3 фаза



запропонований (зі знаком 5.16)

1 фаза

2 фаза



3 фаза

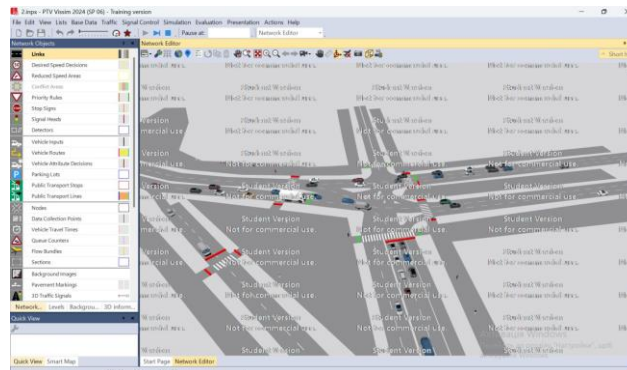
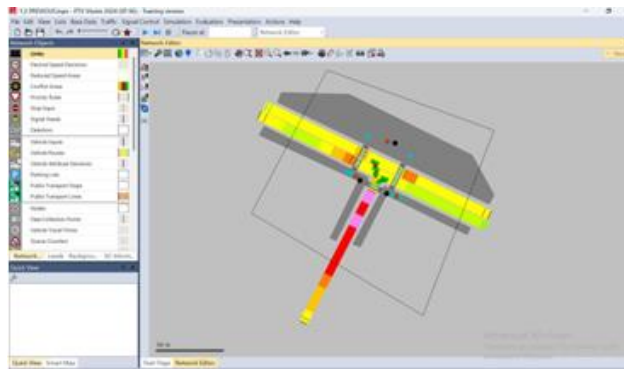


Рисунок 2.8 - Моделювання дорожнього руху на перехресті просп Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького при різних схемах ОДР

Таблиця 2.2 – Підсумкова таблиця (перехрестя просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького)

Показник	Номер варіанту схеми ОДР	
	Існуючий	Запропонований
Середня затримка руху ТЗ на перехресті, с	27,2	25,13
Затримки руху пішоходів, с	18,0	18,16
Викиди шкідливих речовин, г :		
CO	506,568	485,45
NO _x	98,56	94,451
Летючі органічні сполуки	117,402	112,508
Складність перехрестя, т	5 - просте	1 - просте
Коефіцієнт відносної аварійності перехрестя, K_a та ступінь небезпеки	0,09 - безпечне	0 - безпечне

було (зі знаком 4.6)



існуюча (зі знаком 5.16)

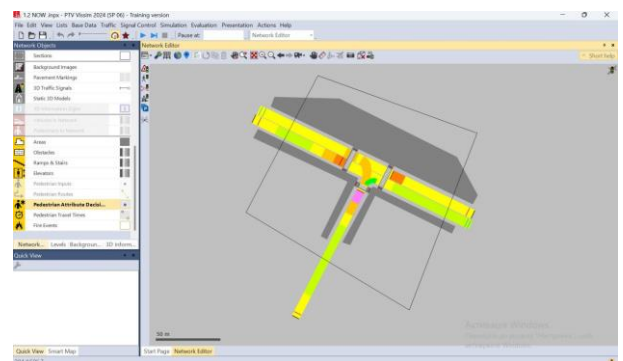
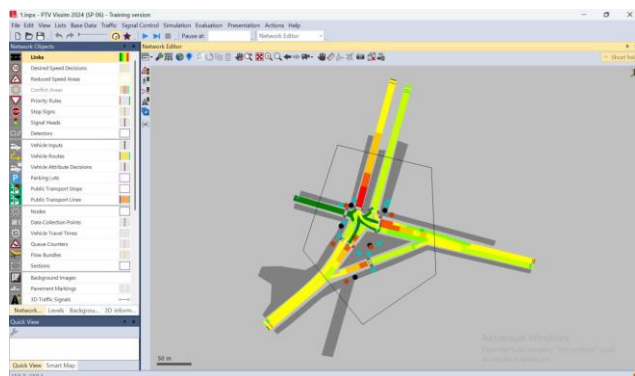


Рисунок 2.9 – Теплові карти щільності на перехресті вул. Северина
Потоцького – просп. Героїв Харкова

існуюча (знак відсутній)



запропонована (зі знаком 5.16)

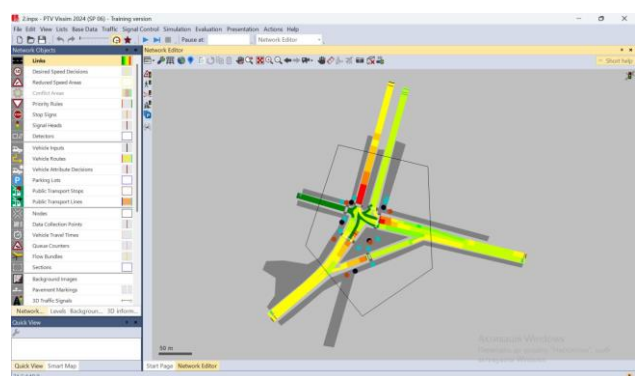


Рисунок 2.10 – Теплові карти щільності на перехресті просп.
Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького

Значне зменшення затримки ТЗ та викидів (див. табл. 2.3) свідчить про ефективність застосування правильної схеми ОДР та дорожніх знаків. Затримки пішоходів не змінилися, але загальна безпека зберіглася завдяки світлофорам. Запропоноване рішення на другому перехресті дало позитивний ефект, хоч і не настільки виражений, як у першому випадку (див. табл. 2.4). Викиди та середні затримки трохи зменшилися. Затримка пішоходів майже не змінилася. Перехрестя стало ще безпечнішим.

Таблиця 2.3 – Аналіз оціночних показників на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова

Показник	Було	Існуючий	Зміна	Оцінка
Середня затримка ТЗ, с	22,76	8,62	-14,14 с	Суттєве покращення
Затримка пішоходів, с	5,17	5,18	+0,01 с	Без змін
Викиди шкідливих речовин, г				
– СО	274,527	183,53	-90,997 г	Зменшення
– NO _x	53,413	35,708	-17,705 г	Зменшення
– Летючі органічні сполуки (ЛОС)	63,624	42,535	-21,089 г	Зменшення
Складність перехрестя	5 – просте	1 – просте	-4 (спрощення)	Покращення
Аварійність	2,04 – безпечне	2,04 – безпечне	Без змін	Без змін

Таблиця 2.4 – Перехрестя просп. Олександрівський – бульв. Богдана Хмельницького

Показник	Існуючий	Запропонований	Зміни	Оцінка
Середня затримка ТЗ, с	27,2	25,13	-2,07 с	Незначне покращення
Затримка пішоходів, с	18,0	18,16	+0,16 с	Майже без змін
Викиди шкідливих речовин, г:				
– СО	506,568	485,45	-21,118 г	Покращення
– NO _x	98,56	94,451	-4,109 г	Покращення
– Летючі органічні сполуки	117,402	112,508	-4,894 г	Покращення
Складність перехрестя	5 – просте	1 – просте	-4	Покращення
Аварійність	0,09 – безпечне	0 – безпечне	Зниження аварійності до нуля	Покращення

Аналіз результатів імітаційного моделювання засвідчив, що удосконалення ОДР шляхом оптимізації системи дорожніх знаків у поєднанні зі світлофорним регулюванням забезпечує підвищення ефективності функціонування міських перехресть. За обома дослідженими об'єктами встановлено позитивну динаміку ключових показників, зокрема зменшення середніх затримок ТЗ, зниження обсягів викидів шкідливих речовин та спрощення умов руху.

Водночас зміни у затримках пішоходів є несуттєвими та не впливають на загальний рівень безпеки, який у досліджуваних випадках зберігається або

покращується. Отримані результати підтверджують, що навіть незначні коригування в організації дорожньої сигналізації можуть забезпечити відчутний ефект, хоча ступінь цього ефекту залежить від початкових умов функціонування конкретного перехрестя.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність використання дорожніх знаків як дієвого інструменту підвищення ефективності ОДР. Удосконалення їх розміщення та узгодження з іншими елементами транспортної інфраструктури сприяють не лише підвищенню безпеки, а й оптимізації ТП, зменшенню екологічного навантаження та покращенню загальних умов руху. Отримані залежності та висновки можуть бути використані при розробці практичних рекомендацій щодо вдосконалення ОДР на міських перехрестях.

3 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ТРАНСПОРТНОГО РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ МІСТА ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ МІСТ

Транспортне районування — це розділення території міста на розрахункові транспортні райони для задач аналізу функціонування його транспортної інфраструктури та її математичного моделювання [28, 29, 30]. Для створення якісної моделі транспортної мережі територія міста умовно розділюється на зони таким чином, щоби важливі для поточного дослідження параметри були гомогенні в межах однієї зони (транспортного району).

Такими параметрами можуть бути щільність населення, рівень автомобілізації, поверховість забудови, тип забудови, кількість місць для стоянки [29, 31], спосіб переважного використання території (селитебна зона, промислова зона, рекреаційна зона, торговельна зона, ділова частина міста, транспортні вузли тощо).

Окрім визначення меж кожного транспортного району важливим питанням є призначення умовного центру транспортного тяжіння кожного транспортного району, оскільки на наступних етапах моделювання для спрощення моделювання дослідники зазвичай абстрагуються від форми, розмірів та топографічного рельєфу зони і представляють її як «атомарний» об'єкт, елемент моделі з переліком параметрів. При використанні теорії графів зони зазвичай представляють як точки — вершини (вузли) графа [32]. І ці вузли (вершини) графа розміщують в умовних центрах кожного транспортного району. Наприклад, відповідно до рекомендацій [33] територія міста розділяється на транспортні райони таким чином, щоби вузлами були основні перехрестя, а прилегла до перехрестя територія була транспортним районом. Цей спрощений метод дозволяє точно визначати координати центри транспортних районів, але порушує умови гомогенності досліджуваних параметрів, наприклад, кількості місць стоянки чи рівня автомобілізації в межах одного транспортного району [34]. Збільшити гомогенність можна через зменшення розмірів транспортних районів та відповідно збільшення їхньої кількості, а це ускладнює задачу побудову моделі транспортної мережі конкретного міста, оскільки потребує

збільшення обсягів вихідних даних, які треба отримати на місцевості для побудови моделі, зокрема збільшує необхідну кількість вимірювань інтенсивності транспортних потоків [34].

Транспортна інфраструктура – одна з найважливіших інфраструктур, що забезпечують життя міста. Тому особливу важливіми є оптимальне планування мереж, удосконалення дорожнього руху. Рішення таких задач неможливе без математичного моделювання транспортних мереж. Головна задача математичних моделей – визначення і прогнозування всіх параметрів функціонування транспортних мереж, зокрема інтенсивності руху транспортних потоків на всіх елементах транспортної мережі, швидкості руху, затримки та витрат часу [32]. Математичні моделі, які застосовують для аналізу транспортних мереж, дуже різноманітні в залежності від поставлених задач, математичному апарату, вихідним даним та ступеню деталізації опису процесу руху транспортних потоків. За функціональною роллю моделі можна розподілити на три основних класи:

- прогнознi моделі;
- імітаційні моделі;
- оптимізаційні моделі.

Прогнознi моделі призначені для такої задачі. Нехай відомі геометрія (топологія) та характеристики транспортної мережі, а також розміщення об'єктів транспортного тяжіння в місті. Необхідно визначити, якими будуть транспортні потоки у цій мережі. Прогнозування завантаженості вулично-дорожньої мережі включає в себе розрахунки характеристик руху: величину міжрайонних транспортних кореспонденцій, розподілення потоків автомобілів по шляхах сполучення (маршрутизація), тощо. За допомогою цих моделей можна спрогнозувати наслідки змін в транспортній мережі або в розміщенні об'єктів транспортного тяжіння.

На відміну від вищезгаданих моделей імітаційне моделювання ставить своєю метою відтворення всіх деталей та особливостей руху, враховуючи розвиток процесів руху у часі. При цьому середні значення інтенсивності потоків та розподілення кореспонденцій по вказаних шляхах сполучення вважається відомими та наперед заданими для цих моделей. Таким чином, прогнозування потоків та імітаційне

моделювання доповнюють один одного. До класу імітаційних моделей можна також віднести широкий спектр моделей, відомих як моделі динаміки транспортного потоку. В моделях такого класу може застосовуватися різна техніка та підходи – від імітації процесу руху кожного окремого автомобіля до описання динаміки функції щільності автомобілів у потоці.

Для динамічних моделей характерна значно більша деталізація опису руху та, відповідно, потреба у значних ресурсах обчислювальних машин для їх застосування. Застосування таких моделей дозволяє оцінити динаміку зміни швидкості руху, затримки на перехрестях, довжину та динаміку виникнення черг на перехрестях та транспортних заторів, а також інші характеристики руху. Основні області практичного застосування динамічних імітаційних моделей — поліпшення організації дорожнього руху, оптимізація світлофорного регулювання, тощо. Сьогодні актуальною задачею для таких моделей є розробка систем автоматизованого управління рухом, які працюють в режимі реального часу. Такі системи мають використовувати інформацію з датчиків у комплексі з динамічним імітаційним моделюванням. Однак, крім практичних застосувань, розвиток динамічних моделей представляє значний науковий інтерес у зв'язку з вивченням транспортного потоку як фізичного явища зі складними та нетривіальними властивостями. Серед таких властивостей – спонтанна втрата стійкості, явища самоорганізації та колективної поведінки.

Моделі прогнозування потоків та імітаційні моделі ставлять на меті адекватне відтворення транспортних потоків. Існує, однак, велика кількість моделей, призначених для оптимізації функціонування транспортних мереж. В цьому класі моделей ставляться задачі оптимізації маршрутів руху транспорту, визначення оптимальної конфігурації мережі та ін. Методи оптимізації транспортних мереж розглянуті, наприклад, у [35].

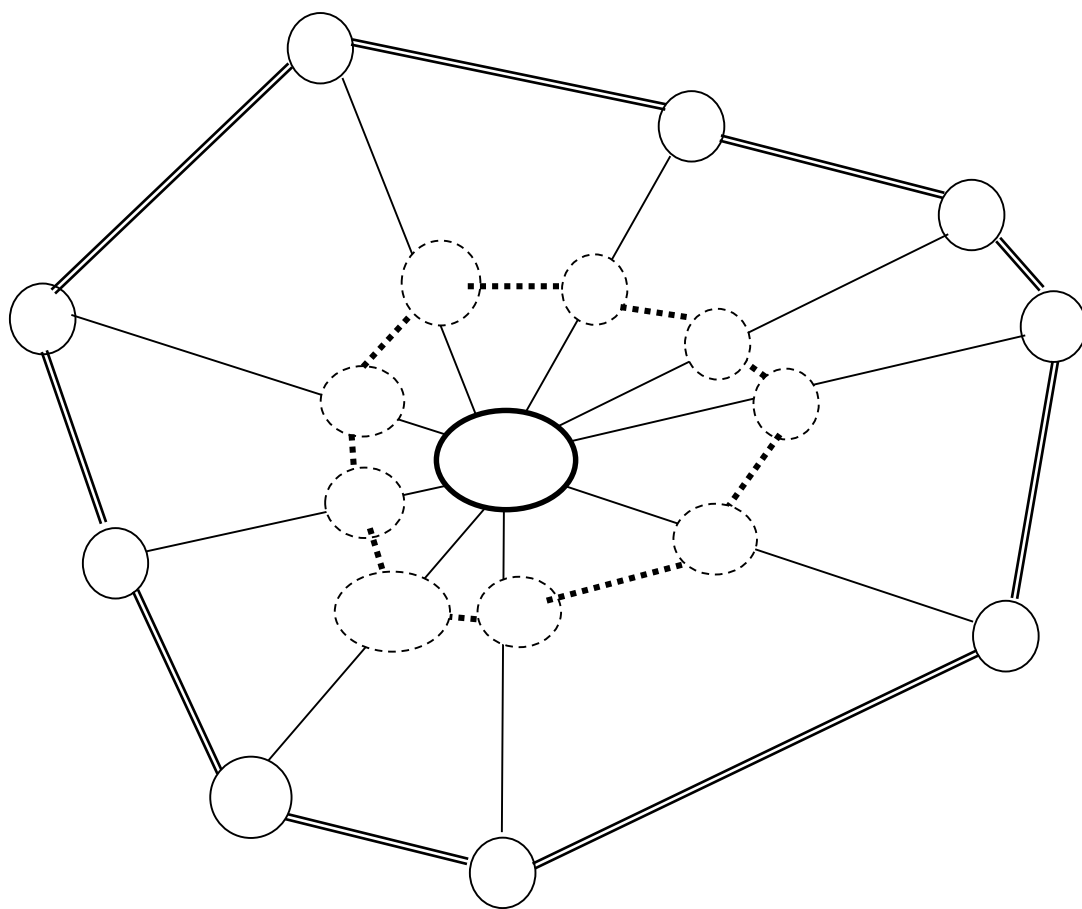
Важливою підсистемою транспортної системи є вулично-дорожня мережа. Для моделювання вулично-дорожньої мережі зазвичай використовується математичний апарат теорії графів. При цьому перехрестя та центри транспортного тяжіння представлені як вершини графа, а ділянки доріг між ними як ребра графа.

Таке представлення дозволяє використовувати теорію графів для задач розрахунку маршрутів між центрами транспортного тяжіння, транспортних потоків на ділянках мережі та інших задач.

Для задачі відведення транспортних потоків з ЦДЧМ при укрупненому транспортному районуванні міста вершинами графа пропонується мегарайони, звівши кожен мегарайон до однієї точки — умовного центру транспортного тяжіння мегарайону, а також центр тяжіння ЦДЧМ та точки в'їзду/виїзду з ЦДЧМ. У якості ребер графу пропонується представити радіальні магістральні вулиці, кільцеві транспортні зв'язки поза межами ЦДЧМ та майбутню систему УКЗ. Схема транспортної мережі, створювана за вказаними пропозиціями, у загальному вигляді представлена на рис. 3.1.

При моделюванні транспортної мережі міста його території умовно розділюють на невеличкі зони (транспортні райони). При встановленні меж транспортних районів враховують розподілення населення, використання території, основні пункти відправлення та прибуття, а також існуючі ділянки вулично-дорожньої мережі та перспективи її розвитку згідно рекомендацій Д. Дрю та ін. [32, 35]. У ході виконання роботи автором було зроблено припущення, що немає необхідності моделювати з всю транспортну мережу міста із високим рівнем деталізації в тому випадку, якщо стоїть завдання поліпшення організації руху не на всій мережі, а в основному в ЦДЧМ. Пропонується розділити територію міста на укрупнені транспортні райони - мегарайони [34]. Так ми виділяємо ЦДЧМ і периферійні мегарайони. Однак постає питання про визначення кордонів мегарайонів і самої ЦДЧМ та центрів їх транспортного тяжіння.

Виявилося, що рекомендації [32, 33] з визначення меж невеликих транспортних районів і їх центрів транспортного тяжіння малопридатні для великих мегарайонів, оскільки, в межах одного мегарайону можливе існування декількох центрів транспортного тяжіння - вокзалів, великих торгових центрів і т. д.



Умовні позначення:



- транспортний мегарайон;



- транспортний вузол, де з'єднується радіальна магістраль з існуючим чи проєктованим умовно-кільцевим зв'язком;

..... - проєктований умовно-кільцевий зв'язок;



- кільцевий зв'язок за межами ЦДЧМ;



- радіальний магістральний зв'язок;

Рисунок 3.1 – Умовна схема транспортної мережі

3.1 Делімітація транспортних мегарайонів

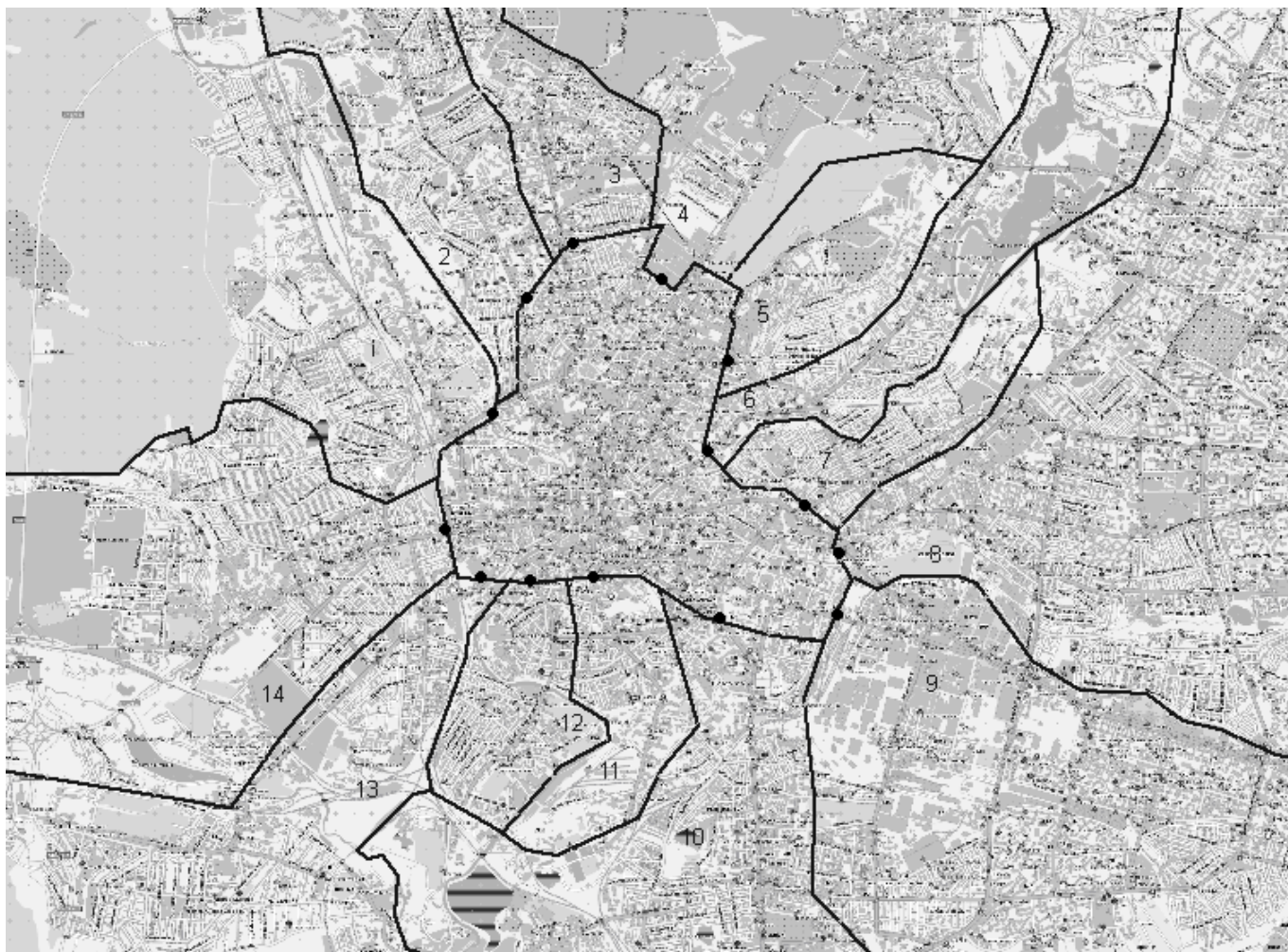
Спочатку автором було запропоновано формувати транспортні райони уздовж великих радіальних магістральних вулиць, а центри транспортного тяжіння умовно розташовувати на самій магістральній вулиці на деякій відстані від ЦДЧМ, однак, при практичному застосуванні цього припущення з'ясувалося, що не завжди в'їзд і виїзд з ЦДЧМ припадає на такі магістралі. Крім того, магістральні вулиці можуть роздвоюватися. Тому було запропоновано інший підхід до формування мегарайонів.

Пропонується визначати межі території окремих мегарайонів починаючи від в'їзду/виїзду з ЦДЧМ. При цьому кожна частинка території міста, яка не входить до ЦДЧМ, відноситься до того мегарайону, у якого точка в'їзду/виїзду до ЦДЧМ виявляється ближче всього. При цьому відстань вимірюється по дорогах (вулицями, проїздах). Таким чином, межа між сусідніми периферійними мегарайонами є еквідистантною лінією.

Описаним вище способом була розділена на мегарайони територія міста Харків (рис. 3.2).

У процесі районування з'ясувалося, що у разі наявності заміських селищ, що мають тісний транспортний зв'язок з містом (тобто, транспортні потоки між селищем-сателітом і містом досить великі) має сенс включити територію селища в територію відповідного периферійного мегарайону.

Наступним питанням є визначення межі ЦДЧМ. Існує декілька критеріїв, за якими певну частину території міста можна назвати «центр». Наприклад, історичний центр міста визначається наявністю історичних пам'яток, геометричним центром міста можна назвати точку всередині міста, яка рівновіддалена від межі міста. Діловим центром міста є зона, що забудована офісними будівлями, торговими центрами, громадськими будівлями. При цьому немає чіткого критерію визначення меж цих «центрів».



Умовні позначення:

- - границя мегарайону або ЦДЧМ;
- - місце в'їзду /виїзду з ЦДЧМ.

Рисунок 2.2 – Поділ території Харкова на ЦДЧМ і периферійні мегарайони

Оскільки метою даної роботи є зниження транспортного навантаження у центральній діловій частині міста, то вважаємо, що в рамках даної роботи «центром» є зона, яка забудована офісними та громадськими будівлями, та яка має при цьому підвищене транспортне навантаження на вулично-дорожню мережу. Транспортне навантаження, таким чином, можна оцінити через коефіцієнт завантаження дороги рухом [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

$$K_3 = \frac{N}{P}, \quad (3.1)$$

де N – інтенсивність транспортного потоку на даній ділянці вулиці у даному напрямку, авт./год.;

P – пропускна спроможність ділянки вулиці у даному напрямку, авт./год., або коефіцієнт зниження швидкості через взаємні перешкоди автомобілів у транспортному потоці

$$K_v = \frac{V_\phi}{V_\epsilon}, \quad (3.2)$$

де V_ϕ – фактична швидкість руху на даній ділянці вулиці у даному напрямку, км/год.;

V_ϵ – швидкість вільного руху на даній ділянці у даному напрямку, км/год.

У роботі Холодової О. О. [37] запропоновано та обґрунтовано такий критерій визначення межі ЦДЧМ як рівень обслуговування попиту на проїзд

$$K_{\text{np}} = \frac{k_3 \cdot V_\phi}{[V]}, \quad (3.3)$$

де k_3 – коефіцієнт припустимого зниження V_ϕ по відношенню до $[V]$, який залежить від щільності вулично-дорожньої мережі, її завантаженості рухом та припаркованими автомобілями ($k_3 = 2...2,5$);

$[V]$ – максимально припустима швидкість транспортного потоку на даному перегоні, км/год.

3.2 Визначення середньозважених координат центрів транспортного тяжіння

Наступним важливим питанням є визначення місця розташування умовного центру тяжіння кожного мегарайону. Транспортна мережа моделюється у вигляді

плоского орієнтованого графа, в якому вершини представляють собою центри транспортного тяжіння мегарайонів. Тобто, мегарайон з його значною площею необхідно представити у вигляді однієї точки-вершини графа. При традиційному підході до моделювання транспортної мережі транспортний район замінюється точкою, так званим «центроїдом» [32], координати якої відповідають координатам якого-небудь одного на весь транспортний район об'єкта транспортного тяжіння. У нашому випадку таких об'єктів може бути декілька. Крім того, об'єкти транспортного тяжіння можуть бути нерівномірно розподілені по території мегарайону. Тому не має сенсу брати як центр транспортного тяжіння геометричний центр мегарайону. Пропонується територію кожного мегарайону розділити на окремі ділянки з рівномірним (у межах однієї ділянки) розміщенням об'єктів транспортного тяжіння. Після чого потрібно визначити координати умовного центру тяжіння мегарайону як середньозважені координати центрів всіх ділянок, що входять в даний мегарайон.

$$x_{\text{цтм}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n U_i}, \quad (3.4)$$

де i – порядковий номер ділянки забудови;

x_i – координата (довгота) центра транспортного тяжіння для ділянки i ;

U – кількість автомобілів, які в'їжджають та виїжджають на територію ділянки i , од./год.

$$y_{\text{цтм}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n U_i}, \quad (3.5)$$

де y_i – координата (широта) центра транспортного тяжіння для ділянки i ;

Автором прийнята гіпотеза про те, що кількість в'їжджають і виїжджають автомобілів пропорційна кількості людей, що проживають в даному районі з

урахуванням коефіцієнта автомобілізації, а кількість проживаючих, у свою чергу, пропорційно кількості квартир (або приватних будинків). Кількість квартир або приватних будинків можна приблизно визначити за площею забудови та поверховості будинків.

Отже, координати умовного центру тяжіння мегарайону можна визначити як середньозважені за формулами

$$x_{\text{ЦТМ}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot k_{\text{пов } i} \cdot n_{\text{кв}} \cdot k_{\text{авт}} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot n_{\text{кв}} \cdot k_{\text{авт}} \cdot k_{\text{пов } i}}, \quad (3.6)$$

де S_i – площа забудови ділянки i , км²;

$k_{\text{пов } i}$ - коефіцієнт поверховості будинків;

$n_{\text{кв}}$ -- середня кількість мешканців квартири (приватного будинку), чол.;

$k_{\text{авт}}$ -- коефіцієнт автомобілізації.

$$y_{\text{ЦТМ}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot k_{\text{пов } i} \cdot n_{\text{кв}} \cdot k_{\text{авт}} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot n_{\text{кв}} \cdot k_{\text{авт}} \cdot k_{\text{пов } i}}. \quad (3.7)$$

Якщо проаналізувати ці формули, то видно, що для визначення положення умовного центру тяжіння мегарайону необов'язково знати абсолютну кількість жителів у мегарайоні. Достатньо інформації про пропорційне співвідношення кількості жителів (автомобілістів) у різних частинах мегарайону. Якщо взяти для розрахунків усереднена кількість мешканців у квартирі, то це число в дробу скорочується. А за умови рівномірності співвідношення кількості жителів, які мають і які не мають автомобілів (в межах однієї ділянки), коефіцієнт автомобілізації в дробу також скорочується. Таким чином, координати умовного центру тяжіння для кожного мегарайону можна визначити за формулами

$$x_{\text{цтм}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot k_{\text{пов } i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot k_{\text{пов } i}}, \quad (3.8)$$

$$y_{\text{цтм}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot k_{\text{пов } i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot k_{\text{пов } i}}. \quad (3.9)$$

Практично, для вирішення поставленого завдання пошуку умовного центру транспортного тяжіння мегарайону територію мегарайону потрібно розділити на ділянки з однаковою забудовою. При цьому будемо вважати, що об'єкти транспортного тяжіння рівномірно розподілені в межах кожної ділянки. Потім потрібно виміряти площу кожної ділянки забудови та встановити геометричний центр кожної ділянки. Координати умовного центру тяжіння мегарайону знаходимо як середньозважені координати геометричних центрів окремих ділянок, що становлять мегарайон з урахуванням поверховості забудови цих ділянок. Координати можуть бути географічними або умовними координатами карти.

4 ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ІНТЕНСИВНОСТІ ТА ШВИДКОСТІ В ТРАНСПОРТНОМУ ПОТОЦІ

Сучасні транспортні системи стикаються зі зростаючими вимогами до ефективності, безпеки та стійкості. В умовах урбанізації та збільшення щільності руху особливого значення набуває глибоке розуміння закономірностей, що керують транспортними потоками. Одним із фундаментальних понять у теорії транспортних потоків є закон кількості транспортного потоку, що встановлює кількісні взаємозв'язки між основними параметрами руху: інтенсивністю, щільністю та швидкістю. Транспортний потік як система — складна система, що містить транспортні засоби, що рухаються, водіїв, проїзну частину, облаштування вулиць і доріг і навколишнє середовище. Зворотний зв'язок здійснюється водіями, дизайнерами та підсистемою керування дорожнім рухом.

Основний принцип системи «транспортний потік» — цілісність процесу руху: первинним є цілісність потоку, вторинним — становище та швидкість транспортних засобів (пішоходів) у потоці.

Розробкою теорії транспортного потоку займалися і займаються багато фахівців різних країн [38, 42-46, 48]. Проте все зводилося до моделювання взаємозв'язку між інтенсивністю і швидкістю або до розподілу інтервалів між автомобілями, що явно є не повним розкриттям динаміки трафіку. Не враховувалася одна особливість автомобіля, що він одночасно є і джерелом трафіку і джерелом його швидкості, тобто дуальність автомобіля.

Застосування топологічних методів аналізу системи «транспортний потік» для її керування та проектування маршрутів руху потребує визначення головних екстенсивних та інтенсивних параметрів. Як зазначають деякі дослідники, аналіз ланцюгів і систем слід здійснювати з урахуванням поздовжніх і поперечних змінних. У такому випадку опір руху та щільність транспортного потоку визначаються як відношення між цими змінними.

Для визначення зазначених змінних виділимо структурний елемент вулично-дорожньої мережі, на якому можливе скупчення одиниць транспортного потоку, їх рух, зміна швидкості, а також виникнення заторів. Таким топологічним елементом є перегін – ділянка між перехрестями одиничної довжини.

За допомогою перехресть різних типів окремі перегони об'єднуються в єдину вулично-дорожню систему. Різні типи перехресть забезпечують з'єднання перегонів у єдину вулично-шляхову мережу. Таким чином, екстенсивним параметром, що характеризує приріст пройденого шляху, визначаємо швидкість потоку dl/dt , за умови, що dl не дорівнює 0, а інтенсивним параметром, згідно з прийнятою у транспортній науці термінологією, є інтенсивність транспортного потоку.

Опис характеристик перегону буде повним при визначенні рівняння, які зв'язують змінні $V(t)$ та $N(t)$ що в свою чергу характеризують дуальність (двоїстість) транспортної одиниці в узагальнених параметрах.

Для визначення узагальнених параметрів розберемо відношення $V(t)$ та $N(t)$, добуток $V(t)$ та $N(t)$ і хуткість зміни однієї величини від іншої, тобто перші похідні за dt . Для отримання наступного узагальненого параметра розглянемо на односмуговому перегоні залежність інтенсивності $N(t)$ від тимчасової похідної швидкості $dV(t)/dt$.

Взаємозв'язок $N(t)$ з $dV(t)/dt$ одержимо також апроксимуючи характеристику цього зв'язку за допомогою прямої, яку спрямуємо через початок координат.

Отримуємо рівняння у вигляді

$$N(t) = J \frac{dV(t)}{dt} \quad (4.1)$$

де J – передавальна функція інерційності автомобіля для розглянутої системи «транспортний потік»; інтерпретуємо її як інерційність, тобто як акумулятор кінетичної енергії (шляхового потенціалу) або як ефект інерційної маси потоку.

У рівнянні (4.1) інтенсивність $N(t)$ є явною функцією від $\frac{dV(t)}{dt}$.

Якщо $\frac{dV(t)}{dt}$ існує в інтервалі $0 \leq T \leq t$, то розв'язання рівняння має вигляд

$$V(t) = \frac{1}{J} \int_0^t N(t) dt + V(0), \quad (4.2)$$

або

$$V(t) - V(0) = \frac{1}{J} \int_0^t N(t) dt.$$

Якщо $V(t)$ – розривна функція, то рівняння (4.1) не має розв'язання. Обійдемо цю складність, використовуючи нову змінну $\lambda(t)$ названу «кількістю потоку»

$$\lambda(t) = JV(t) = \begin{cases} J[V(t) - V(0)], & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

Тоді

$$N(t) = d\lambda(t) / dt. \quad (4.4)$$

Коли інтенсивність є безперервною функцією часу, то кількість потоку $\lambda(t)$ пов'язана з інтенсивністю $N(t)$ співвідношенням

$$\lambda(t) = \int_0^t N(t) dt. \quad (4.5)$$

Добуток інтенсивності потоку на проміжок часу dt представлятиме елементарну величину інтенсивності (збільшення на один автомобіль)

$$n = Ndt = d\lambda. \quad (4.6)$$

У той же час добуток інерційності транспортного потоку на швидкість буде кількістю потоку. Отже, інерційність характеризує швидкість зміни кількості потоку (автомобілів) зі зміною швидкості потоку $\lambda = J \cdot V$ (авт.).

Фактично елементарна величина інтенсивності за час dt дорівнює зміні кількості потоку за той самий час dt , тобто

$$n = d(\lambda) \text{ (авт.)} \quad (4.7)$$

Рівняння (4.7) вказує на закон зміни кількості транспортного потоку: «Зміна інтенсивності транспортного потоку за певний проміжок часу дорівнює зміні кількості автомобілів в потоці за той же час».

Цей закон дозволяє за початковою швидкістю автомобілів V_0 і відомою кількістю потоку (інтенсивність в інтервалі часу) знаходити кінцеву швидкість автомобілів у потоці, минувши всі обчислення проміжних швидкостей V .

Кількість транспортного потоку є рухомою групою або «пачкою» автомобілів на одній смузі, число яких у «пачці» може змінюватися від одного автомобіля до деякої максимальної кількості і, у свою чергу, залежить від довжини ділянки шляху dl де вивчається рух транспортного потоку і від величини інтервалу часу dt .

Але у зв'язку з однорідністю шляхового простору кількість автомобілів у групі залишається незмінною, і тому має місце закон збереження кількості потоку. Через дану однорідність властивості системи «транспортний потік» не змінюватимуться при будь-якому паралельному перенесенні цієї системи як цілого в просторі.

Таке паралельне перенесення означає перетворення, при якому всі точки системи зміщуються на один і той самий відрізок.

Для системи «транспортний потік» закон збереження кількості потоку підтверджується ще і тією обставиною, що при незмінній інтенсивності, коли приріст інтенсивності дорівнює нулю, кількість потоку в групі буде величиною постійною. Тобто кількість автомобілів у рухомій групі буде незмінною як на ділянці шляху L , так і на ділянці $L + dl$.

Функція кількості потоку, який зберігає при русі постійне значення, залежне від початкових умов, є інтегралом руху, рівняння (5). Представимо кількість автомобілів, що пройшли по ділянці дороги в одному напрямі за час від 0 до t , у вигляді суми

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n.$$

Якщо відомі елементарні відрізки часу Δt і середня інтенсивність руху $N_{\text{ср}}$ за годину t , то

$$\lambda = N_{\text{ср}1}\Delta t_1 + N_{\text{ср}2}\Delta t_2 + \dots + N_{\text{ср}n}\Delta t_n.$$

Для скорочення запису введемо знак суми $\sum$. Тоді

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_{\text{ср}i}\Delta t_i. \quad (4.8)$$

Спрямуємо $\Delta t \rightarrow 0$ і перейдемо до межі

$$\lambda = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n N_{\text{ср}}\Delta t_i.$$

Ця межа є певним інтегралом для потоку автомобілів, представлених у вигляді динамічних габаритів раніше (4.5). Із рівняння (4.5) видно, що кількість потоку має важливу властивість – адитивність. А саме значення «кількість потоку» для

транспортного потоку, що складається з автомобілів, взаємодією яких можна нехтувати, дорівнює сумі значень з кожного автомобіля окремо. Дана обставина вказує на те, що у значенні «кількість потоку» можна розглядати як один автомобіль, так і групу автомобілів.

Рівняння (4.5) є основним рівнянням кількості потоку і дозволяє вирішувати дві типові задачі:

- за відомою величиною інтенсивності знайти закон зміни кількості автомобілів у потоці;
- за відомим законом зміни кількості автомобілів у групі знайти інтенсивність.

Таким чином, в основних транспортних характеристиках залежність швидкості від інтенсивності описується такими рівняннями

$$V = C dN(t) / dt . \quad (4.9)$$

де C назвемо «узагальненою напруженістю» у транспортному потоці, що враховує швидкість зменшення або збільшення відстані між автомобілями. Напруженість потоку C характеризує собою хуткість зміни швидкості при зміні інтенсивності транспортного потоку.

Рівняння (15) представляє $V(t)$ як явну функцію $dN(t) / dt$ від інтенсивності.

Для визначення зміни інтенсивності залежно від змін швидкості і створення в процесі руху груп, черг, колон, що мають практичний інтерес, встановимо залежність $N(t)$ від $V(t)$ в явному вигляді. Якщо $dN(t) / dt$ існує, то зворотне співвідношення отримаємо, взявши інтеграл з виразу (4.10)

$$N(t) = \frac{1}{C} \int V(t) dt + N(0)$$

$$N(t) - N(0) = \frac{1}{C} \int V(t) dt . \quad (4.10)$$

Якщо $N(t)$ – розривна (східчаста) функція, то $dN(t)/dt$ не існує і рівняння (4.10) є незадовільною формою рівняння напруженості, оскільки не має рішення. Тому проведемо заміну змінних, увівши нову змінну $L(t)$, як узагальнений шлях. Відомо, що $L(t)$ є інтегралом від швидкості транспортного потоку

$$L(t) = \int V(t) dt, \quad (4.11)$$

Звідки швидкість потоку буде

$$V(t) = \frac{dL(t)}{dt}. \quad (4.12)$$

Рівняння (4.12) підтверджує, що швидкість є безперервною функцією часу. Тому, враховуючи (4.10) і те, що пряма, яка апроксимується, проходить через початок координат, одержимо рівняння для варіації щодо точки $N(t) = 0$,

$$L(t) = CN(t), \quad (4.13)$$

або для нелінійного випадку

$$dL(t) = CdN(t).$$

Закон стиснення (формування в групу, колону або збільшення напруженості в транспортному потоці на перегоні) можна виразити однією з таких чотирьох формул

$$N = \frac{L}{C}, \quad N = \frac{1}{C} \int V dt, \quad L = CN, \quad V = CdN / dt, \quad (4.14)$$

які вказують на накопичення потенційної енергії в потоці. Розмірність напруженості визначимо з рівняння (4.14) $C = L / N$, км год./авт.

Значний практичний інтерес представляє інверсійна напруженість, що є швидкістю зміни щільності транспортного потоку або інтенсивністю, яка віднесена до довжини дороги.

Назвемо параметр $U = 1/C$ питомою інтенсивністю транспортного потоку, розмірність якого авт./км год, U описує відношення силової функції (інтенсивності) N до збільшення шляху руху потоку L .

Розглянемо що є потужністю транспортного потоку M , яка характеризує швидкість зміни працездатності системи «шлях-трафік», що вчинено автомобілями потоку

$$M = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{dH}{dt}. \quad (4.15)$$

Використовуючи основне рівняння транспортного потоку $N = Q \cdot V$, де Q визначає щільність трафіку, як супротив руху, при її максимальному значенні трафік автомобілів стоїть. Знайдемо залежність потужності потоку від швидкості, де dx – нескінченне мале переміщення автомобіля потоку, на який впливає інтенсивність за елемент часу Δt .

Тому потужність транспортного потоку має вигляд

$$M = \frac{dN}{dt} = \left(N \frac{dx}{dt} \right) = N \cdot V. \quad (4.16)$$

де V - швидкість автомобіля транспортного потоку. Це миттєве значення потужності.

Використовуючи основне рівняння транспортного потоку, одержимо залежність потужності потоку від швидкості

$$M = Q_m \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) V^2. \quad (4.17)$$

графічно представленою на рис. 4.1.

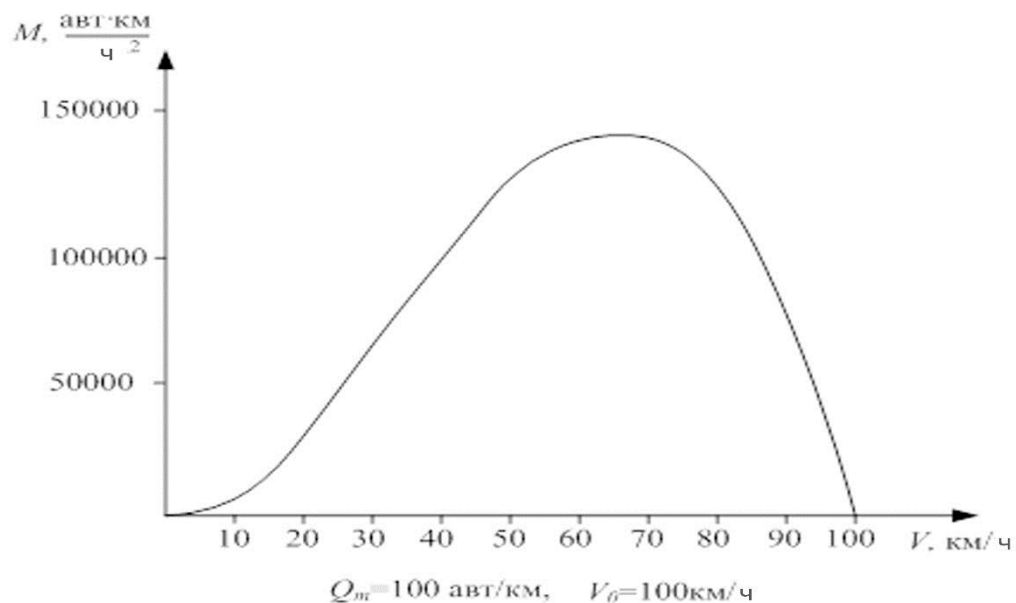


Рисунок 4.1 – Залежність потужності трафіку від його швидкості [40]

Як бачимо з графіка, потужність, як і всі основні характеристики транспортного потоку, має ділянку зростання, оптимальну зону при швидкості 60-70 км/год. і ділянку різкого зниження.

Зміну потужності M під впливом щільності $M(Q)$ отримаємо, використовуючи рівняння $N = Q \cdot V$ і тоді

$$M = \frac{N^2}{Q} = Q V_0^2 \left(1 - \frac{Q}{Q_m}\right)^2. \quad (4.18)$$

Графік даної залежності надано на рис. 4.2, звідки видно, що оптимальні значення щільності при максимальному значенню потужності трафіку M_m знаходяться в межах 30-40 авт./км. Тобто, автомобілі рухаються на відстані

(дистанції) 20-25 метрів один від одного. На графіку указані і зарубіжні дані, що відповідають поняттю і одиницям виміру потужності.

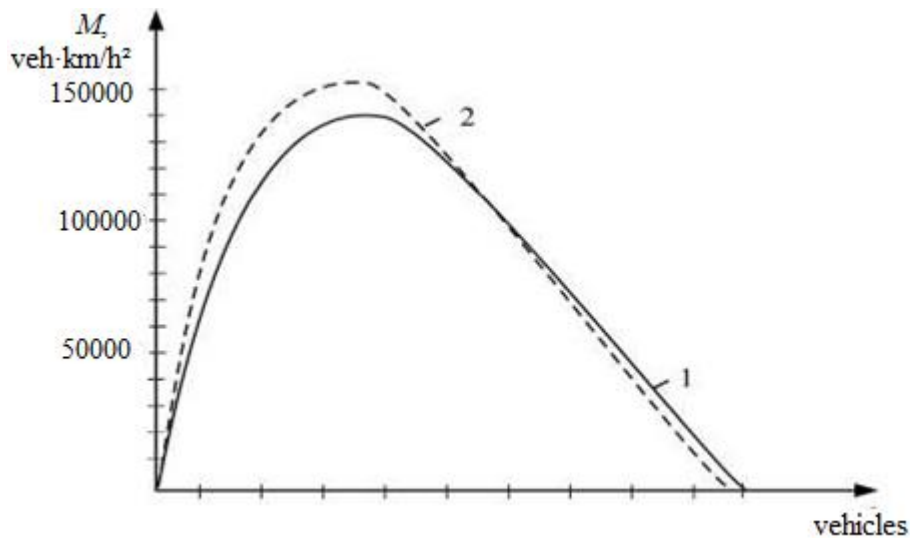


Рисунок 4.2 – Залежність потужності трафіку, M , від щільності Q [40]

Отримати і проаналізувати залежності потужності від інтенсивності скрутно, оскільки необхідно знати закон вступу автомобілів на ділянку дороги. Тому скористаємося графічними даними теоретичних і експериментальних кривих і рівнянням миттєвої потужності, в яке підставлятимемо координати кривих N та V . На рис. 4.3 наведена шукана залежність $M(N)$.

Характер зміни потужності від складу транспортного потоку, який визначається розміром максимальної щільності і умовами руху, що забезпечують швидкість вільного руху V_0 наведено на рис. 4.4.

Графік оригінальний і досить цікавий. Крива 1, побудована по рівнянню (22), близька за формою «Декартову листу». Експериментальні криві 3_a і 3_b досить близькі до теоретичної кривої, чим підтверджують правильність теоретичних викладів [40].

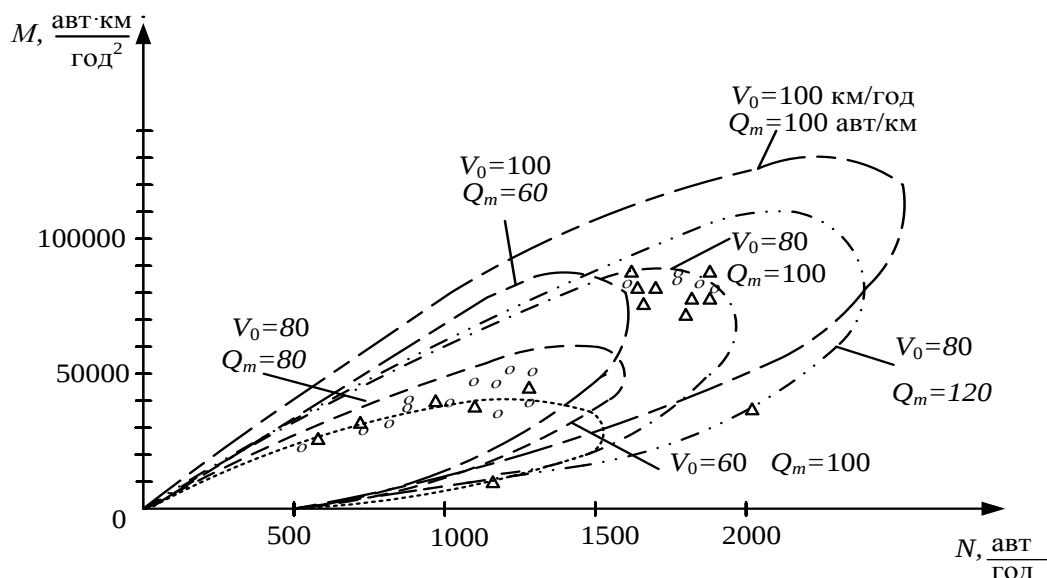


Рисунок 4.3 – Характер зміни потужності M від складу потоку (Q_m) і швидкості вільного руху V_0

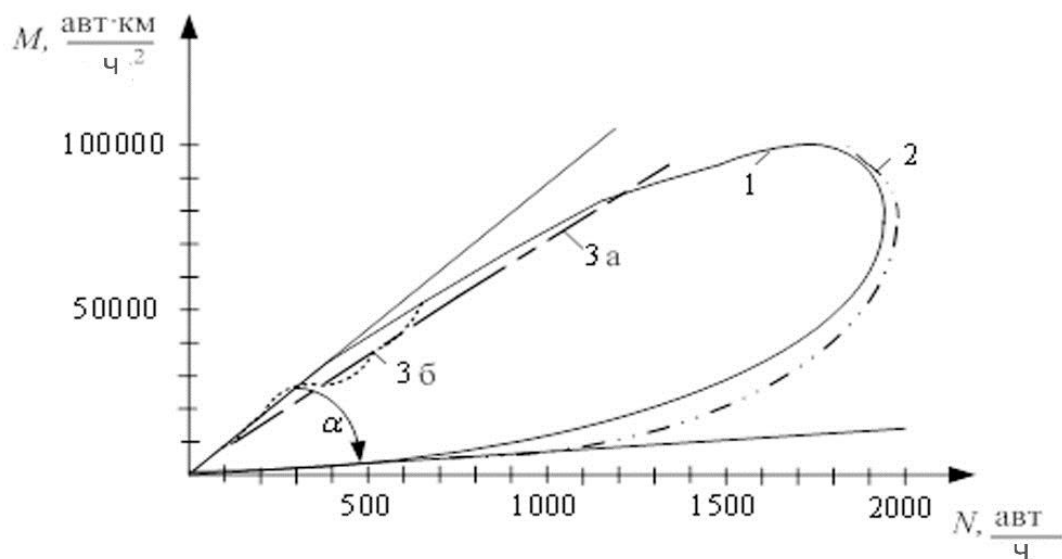


Рисунок 4.4 – Залежність потужності M від інтенсивності N [40]

При цьому крива 2 отримана по натурних спостереженнях в умовах зростання швидкості та інтенсивності потоку легкових автомобілів до рівня пропускної здатності, а криві 3_а і 3_б – на багатосмугових дорогах в умовах зменшення швидкості із зростанням інтенсивності в умовах руху на перетині петлеподібного типу, тобто за рівнем пропускної здатності, що і бачимо на рис. 4.4.

На графіку бачимо, що швидкість вільного руху є тангенсом кута нахилу осі симетрії графіка, а максимальна щільність характеризує рівень пропускної здатності смуги руху. Вісь симетрії розділяє умови руху до рівня пропускної здатності і після досягнення цього рівня.

Поняття «потужність» є природним і узагальнюючим продовженням понять «кількість руху» (авт. км), дорожнього і транспортного потенціалів та ексергії (авт. км/год.), як характеристика їх зміни в часі (авт. км/год.²), тобто це узагальнена змінна системи «шлях-трафік», що характеризує зміни станів руху на вулицях і дорогах.

5 МЕХАНІЗМИ ІНТЕГРАЦІЇ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В СТРАТЕГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Сучасні міста стикаються з багаторівневими викликами, що пов'язані із забезпеченням безпеки дорожнього руху (БДР), зростанням інтенсивності транспортних потоків, урбанізацією та потребою в екологічно сталих рішеннях. За даними ВООЗ [30], щороку внаслідок дорожньо-транспортних пригод (ДТП) у світі гине близько 1,19 млн осіб, а від 20 до 50 млн отримують травми. Особливо вразливими залишаються пішоходи, велосипедисти та мотоциклісти, а більшість смертей припадає на людей працездатного віку, що спричиняє значні загальнодержавні соціально-економічні втрати. Щорічно ДТП призводять до втрати до 3 % ВВП, що вказує на вагомий негативний вплив на національну економіку. Дослідження [51] оцінює макроекономічний тягар травматизму внаслідок ДТП для 166 країн світу і демонструє, що травми внаслідок ДТП коштуватимуть світовій економіці 1,8 трильйона доларів за період 2015-2030 рр. через поєднання перенаправлення коштів: витрат на охорону здоров'я, які в іншому випадку були б використані для заощаджень і інвестицій, та втрат робочих місць через смертність та захворюваність. Ця цифра перевищує сукупний ВВП Канади (десятої за величиною економіки світу) у 2017 р. Таким чином, економічний тягар травматизму внаслідок ДТП еквівалентний щорічному податку в розмірі 0,12 % від світового ВВП за цей період. Водночас більшість інфраструктурних рішень у сфері БДР зосереджені суто на технічному вдосконаленні, нехтуючи міждисциплінарним підходом, що привертає увагу до соціальних, економічних та екологічних аспектів безпеки. У цьому контексті актуальним є наукове завдання розробки системного підходу до аудиту безпеки дорожньої інфраструктури, що інтегрує цілі сталого розвитку синергічно із впровадженням інноваційних транспортних рішень. Існують заходи, що довели свою здатність знижувати ризик травматизму та смертельних випадків внаслідок ДТП, а Порядок денний сталого розвитку на період до 2030 р. встановив амбітну ціль скоротити кількість смертельних випадків та травм внаслідок ДТП на 50 % до 2030 р.

Цілі сталого розвитку (ЦСР) [52-53] визначають транспортну безпеку як один із ключових елементів сталого розвитку, зокрема в Україні, шляхом безпосереднього досягнення:

- ЦСР 3 «Міцне здоров'я і благополуччя» (ЦСР 3.6 «Зменшення кількості травм та смертей на дорогах»);

- ЦСР 11 «Сталий розвиток міст і громад» (ЦСР 11.2 «Забезпечення розвитку поселень і територій виключно на засадах комплексного планування та управління за участю громадськості»)

- ЦСР 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура» (ЦСР 9.1 «Розвиток якісної, надійної, сталої та доступної інфраструктури, яка базується на використанні інноваційних технологій, у тому числі екологічно чистих видів транспорту»).

Отже вирішення цієї проблеми потребує формування міждисциплінарної методології оцінювання інфраструктури, здатної комплексно забезпечити як технічну безпеку автомобільних доріг (АД), так і соціальну ефективність разом із економічною доцільністю.

Дев'ять із десяти смертельних випадків на дорогах трапляються в країнах з низьким та середнім рівнем доходу, до яких належить і Україна, хоча в цих країнах знаходиться лише 60 % транспортних засобів світу. Відповідно до Глобального звіту ВООЗ про стан БДР за 2023 р. [54] оцінка 500 тис. км доріг з твердим покриттям, обраних у 82 країнах усіх регіонів та рівнів доходу, була проведена з використанням системи оцінювання БДР, розробленої Міжнародною програмою оцінки доріг (iRAP) [55], яка оцінює дороги від 0 до 5. Результати оцінки свідчать, що лише 21 % доріг відповідають 3-зірковому рейтингу або вище стосовно пішоходів та дво- та триколісних транспортних засобів; 23 % для велосипедистів; та 40 % для легкових транспортних засобів. Крім того, 93 країни повідомляють про офіційні оцінки БДР в опитуванні для цього звіту, з яких майже 50 заявляють про оцінку лише 20-50 % своєї національної дорожньої мережі. Бізнес-кейс iRAP для безпечних доріг надає глобальну оцінку кількості життів та серйозних травм, які можна врятувати, а також соціальні та економічні вигоди від максимізації відсотка поїздок дорогами 3-зіркового або кращого класу до 2030 р. Досягнення більш ніж 75 % поїздок дорогами

3-зіркового або кращого класу до 2030 р. врятує приблизно 467 000 життів щороку та 100 мільйонів життів та серйозних травм протягом 20-річного періоду дії заходів. Цільові інвестиції в безпечні дороги всіма країнами у розмірі 0,1-0,2 % ВВП на рік до 2030 р. забезпечать цей неймовірний результат із 8 доларами вигоди на кожен інвестований долар.

Однак дієві методи та засоби аудиту БДР не є такими, що широко імплементуються, за багатьох причин. Так, на основі опитування [56] 408 експертів з БДР різних країн, проаналізовано їхнє сприйняття ефективності аудиту БДР (АБДР, RSA - Road Safety Audit). Дослідження виявило, що в країнах з низьким та середнім рівнем доходу знання про аудит БДР та доступ до відповідних служб є обмеженими. Також слід звернути увагу на зміст інструкцій аудит БДР різних країн світу (у залежності від національних, економічних особливостей та стратегічних пріоритетів розвитку інфраструктури) за ключовими параметрами: вони містять визначення аудиту БДР, етапи впровадження, використання листів перевірки, вимоги до кваліфікації аудиторів та юридичні аспекти. Подібні порівняльні огляди [57] наводять значні відмінності та надають рекомендації щодо удосконалення нормативних документів.

Отже аудит БДР, зокрема в Україні, має бути побудований системно з огляду на досягнення пріоритетних ЦСР із урахуванням специфічних особливостей існуючих та перспективних транспортних мереж. Автори дослідження [58], порівнюючи привабливість різних засобів міської логістики м. Київ з точки зору збитків від аварій, наголошують, що остаточна оцінка повинна включати такі статті зовнішніх витрат, як втрати від шкідливих викидів, від шуму та вібрації і особливо від транспортних заторів на мережі. Однак остаточний вибір міського засобу доставки вантажів повинен бути розроблений з урахуванням як соціальних, екологічних, так і прямих економічних витрат. Науковці [59] влучно відмічають, що аудит БДР в Україні ще не став загальноприйнятою практикою і має ряд проблем, таких як недостатня кількість та кваліфікація аудиторів БДР, низька свідомість та зацікавленість замовників та виконавців дорожніх робіт у проведенні аудиту БДР, обмеженість фінансових та

технічних ресурсів для реалізації рекомендацій аудиту БДР, відсутність ефективного контролю та відповідальності за виконання рекомендацій аудиту БДР.

У роботі [60] отримано висновок, що для підвищення ефективності державної політики України у сфері БДР, яка оцінюється зменшенням кількості загиблих та травм учасників дорожнього руху (ДР), повинні враховуватись і зменшення збитків, спричинених цими інцидентами. Також необхідно враховувати нові виклики та загрози, зокрема й військового характеру, під час розробки нової національної стратегії забезпечення БДР та транспортних операцій в Україні. Тому перспективні напрямки діяльності у вирішенні сучасних проблем у сфері автомобільного транспорту та у правовому полі України, що були актуальні до 2022 р., потребують доповнення низкою інших завдань, на які вплинули військові дії та їх негативні наслідки.

У багатьох країнах, зокрема в Україні, аудит дорожньої інфраструктури поки що не повною мірою інтегрований у систему стратегічного планування міського розвитку. Існуючі підходи здебільшого обмежуються технічним аналізом, без врахування соціально-економічних наслідків, екологічного впливу чи довгострокової стійкості інфраструктурних рішень. Це створює потребу в міждисциплінарному підході, який поєднує економічний, соціальний та екологічний аналізи для формування більш ефективної моделі аудиту БДР в умовах сталого розвитку міст.

Метою дослідження є формування концептуального підходу до аудиту БДР, який дозволяє виконати оцінку БДР з урахуванням цілей та принципів сталого розвитку для визначення підстав прийняття обґрунтованих управлінських рішень з підвищення БДР.

Загальновідомо, що ДТП є серйозною соціально-економічною проблемою майже в усіх країнах світу. Для зменшення кількості постраждалих на дорогах було розроблено різноманітні заходи та програми. На міжнародному рівні ООН, Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ), міжнародні фінансові організації (насамперед Світовий банк (СБ), Європейський інвестиційний банк (ЄІБ), Міжнародний банк реконструкції та розвитку (МБРР), Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР) тощо) та деякі спеціалізовані НУО (СДА (PIARC)), МАФ (IRF), ЄРБДР

(ETSC), Міжнародна організація із запобігання ДТП (PRI), Центр моніторингу транспортних потоків у Південно-Східній Європі (SEETO) / Договір про створення транспортного товариства (TREATY), МЦБД (IRSC) тощо) є впливовими організаціями, які ведуть ефективну роботу над підвищенням безпеки АД у глобальному масштабі [61]. Базуючись на актуальності досягнення ЦСР 3.6 «Зменшення кількості травм та смертей на дорогах» та враховуючи наявність міжнародних маршрутів (коридорів), що проходять територією країни, питання усунення потенційних ризиків для учасників ДР мають першочергове значення. Для розгляду складу цього питання розроблено загальну схему концептуального підходу до аудиту БДР із урахуванням принципів сталого розвитку задля досягнення ЦСР (табл. 1).

В результаті досліджень було приділено увагу питанням соціального та економічного блоків. Було визначено, що до особливостей аудиту БДР слід віднести наступні положення [62]:

- дорога має бути передбачуваною за параметрами руху і зрозумілою за дорожніми умовами: таким чином має бути забезпечений необхідний обсяг інформації щодо напрямів та режимів руху автотransпортних засобів;
- забезпечення безпеки руху у темний час доби та для вразливих учасників ДР, пом'якшення наслідків ДТП у разі їх виникнення;
- зниження витрат на кожному наступному етапі технологічного проекту будівництва дороги за рахунок виявлення та усунення недоліків на попередніх етапах;
- визначення рівня БДР та розробка рекомендацій щодо підвищення безпеки на дорозі.

Після майже двох десятиліть досвіду проведення аудиту БДР (RSA) у всьому світі цю процедуру нині визнано одним з найефективніших технічних засобів підвищення рівня безпеки на АД. Аудит БДР є високо результативним та економічно ефективним засобом.

Таблиця 5.1 - Структура концептуального підходу до аудиту БДР у контексті сталого розвитку

Питання аудиту БДР	Відповідність цілям сталого розвитку	Результат впровадження
СОЦІАЛЬНИЙ БЛОК		
- безпека учасників ДР; - зменшення кількості та важкості наслідків ДТП	<i>ЦСР 3 - Міцне здоров'я і благополуччя</i>	підвищення безпеки дорожнього середовища, зниження смертності та травматизму (ЦСР 3.6)
	<i>ЦСР 11 - Сталий розвиток міст і громад</i>	доступність транспорту, безпека вразливих учасників руху, зменшення соціальної напруги
	<i>ЦСР 10 - Скорочення нерівності</i>	доступ до безпечного транспорту для соціально незахищених груп (особи з інвалідністю, діти, літні люди) - покращення інклюзивності міського простору
ЕКОНОМІЧНИЙ БЛОК		
- зниження витрат від ДТП; - ефективність використання інфраструктури; - економія бюджетних коштів; - інвестиції у БДР; - запобігання втратам ВВП	<i>ЦСР 8 - Гідна праця та економічне зростання</i>	зниження втрат продуктивності, скорочення фінансових втрат від ДТП
	<i>ЦСР 9 - Промисловість, інновації та інфраструктура</i>	фінансування інноваційних рішень у транспорті, оптимізація витрат на утримання інфраструктури
	<i>ЦСР 17 - Партнерство заради сталого розвитку</i>	фінансова співпраця, міжнародні інструменти безпеки (наприклад, iRAP), зростання ефективності інвестицій у БДР, державно-приватне партнерство
ЕКОЛОГІЧНИЙ БЛОК		
- зниження шкідливих викидів; - збереження зелених зон; - адаптація до кліматичних змін; - зниження рівня шуму; - використання екологічно-чистих технологій	<i>ЦСР 13 - Пом'якшення наслідків зміни клімату</i>	зниження навантаження на довкілля, зниження викидів CO ₂ , розвиток еко транспорту
	<i>ЦСР 15 - Захист та відновлення екосистем суші</i>	сприяння кліматичній стійкості транспортної системи, зменшення впливу транспорту на зелені зони, біорізноманіття
	<i>ЦСР 12 - Відповідальне споживання та виробництво</i>	екологічно чисті матеріали для будівництва доріг, ресурсощадні рішення

Джерело: розроблено автором

Значно дешевше виявляти недоліки, які впливають на БДР на етапі проектування автомобільних доріг, ніж згодом, після завершення їх будівництва. Фінансування аудиту БДР є однією з найбільш економічно ефективних інвестицій

органів влади, які відповідають за сферу дорожнього господарства та управління АД [61].

Таким чином, відповідно до відомої міжнародної практики (Посібник PIARC), було визначено взаємодію етапів проведення аудиту БДР, що здійснюються послідовно на всіх стадіях життєдіяльності АД (рис. 5.1): 1) планування дороги; 2) ескізне (або попереднє) проектування; 3) детальне проектування; 4) підготовка до відкриття дороги (передексплуатаційна стадія); 5) початкова стадія експлуатації, після того, як дорога певний час була в експлуатації.

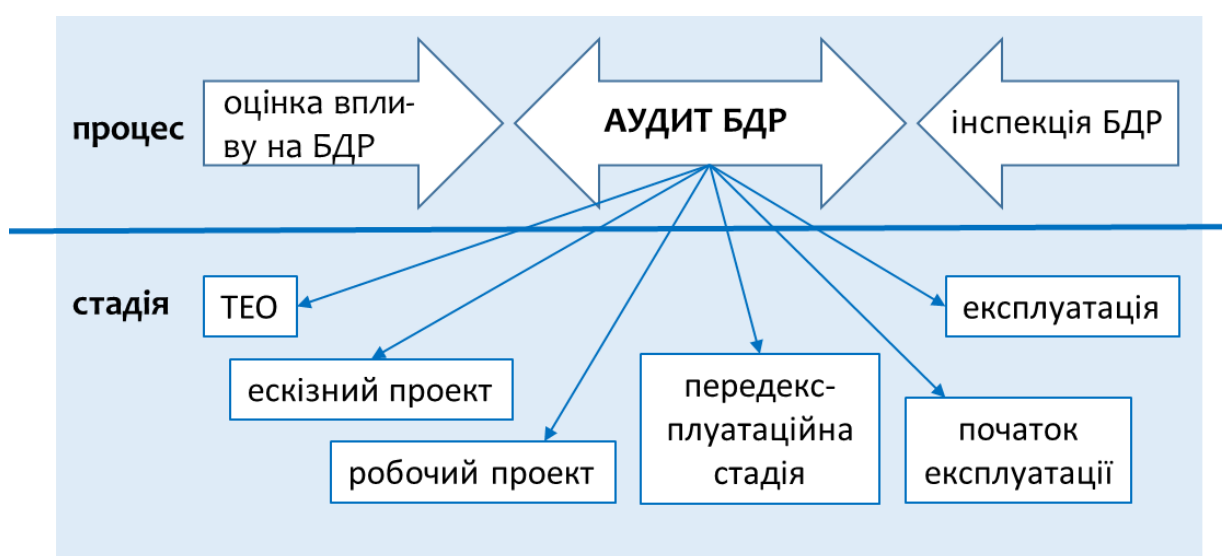


Рисунок 5.1 – Взаємодія рівнів аудиту БДР

Джерело: розроблено автором

Для кожного етапу проведення аудиту встановлено цілі та завдання, які потребують вирішення на підставі існуючих вхідних параметрів [62]. Докладно наведено методики визначення параметрів транспортних потоків, дорожніх умов та режимів руху, які впливають на безпеку руху на всіх стадіях функціонування АД. Розроблено класифікацію методів визначення показників БДР, що оцінюють захищеність усіх учасників ДР на різних ділянках транспортної мережі. Отримало подальший розвиток визначення параметрів пішохідного руху для проведення аудиту безпеки пішоходів.

Аудит БДР на сьогодні існує як найбільш ефективний інструмент інжинірингу не тільки для окремих елементів транспортної системи, а і для функцій їх взаємодії із урахуванням людського фактору. Такий підхід базується на принципах «безпечної системи»: на взаємодії між учасниками ДР та автодорогою, які повинні відповідати її призначенню, що може забезпечити синергійний ефект досягнення ЦСР соціального, економічного та екологічного напрямків.

Відповідно до функціонального призначення, розроблено схему взаємодії комплексних заходів з підвищення БДР, серед яких ключову роль відіграє аудит БДР. До обов'язкових складових такої системи належать: оцінка впливу на безпеку ДР (ОВБДР); аудит БДР на різних стадіях проектування автодоріг; програма оцінювання автодороги (ПОАД); інспекція БДР (ІнБДр); управління місцями концентрації ДТП (УМК); детальний аналіз ДТП із тяжкими наслідками (ДАДТП). Наведено результати порівняльного аналізу традиційного підходу до визначення безпеки БДР із існуючим за результатами проведення аудиту (рис. 5.2).

Рисунок 5.2 наочно свідчить, що аудит БДР за своєю сутністю є дієвим проактивним елементом, що має бути реалізований на стадії проектування доріг – задля завчасного попередження та запобігання ДТП, збереження життя, здоров'я учасників руху та сталого розвитку транспортної інфраструктури України у цілому.

Особливу увагу у дослідженнях було приділено блоку УМК (рис. 5.3). В процесі вибору заходів щодо ліквідації місць концентрації ДТП необхідно віддавати перевагу саме економічним рішенням. Низька вартість не завжди визначає погану якість. Такий підхід впливає на зменшення капітальних витрат і, відповідно, швидке впровадження шляхом удосконалення дорожніх умов. На підставі опису етапів і цілей аудиту розроблено методичні рекомендації щодо проведення поетапної оцінки БДР як необхідної процедури із обов'язковим формуванням аркушів контролю аудиторами для подальшого аналізу коефіцієнтів аварійності, а також для прийняття рішень з підвищення БДР небезпечних ділянок та усунення дефектів на дорозі [63].

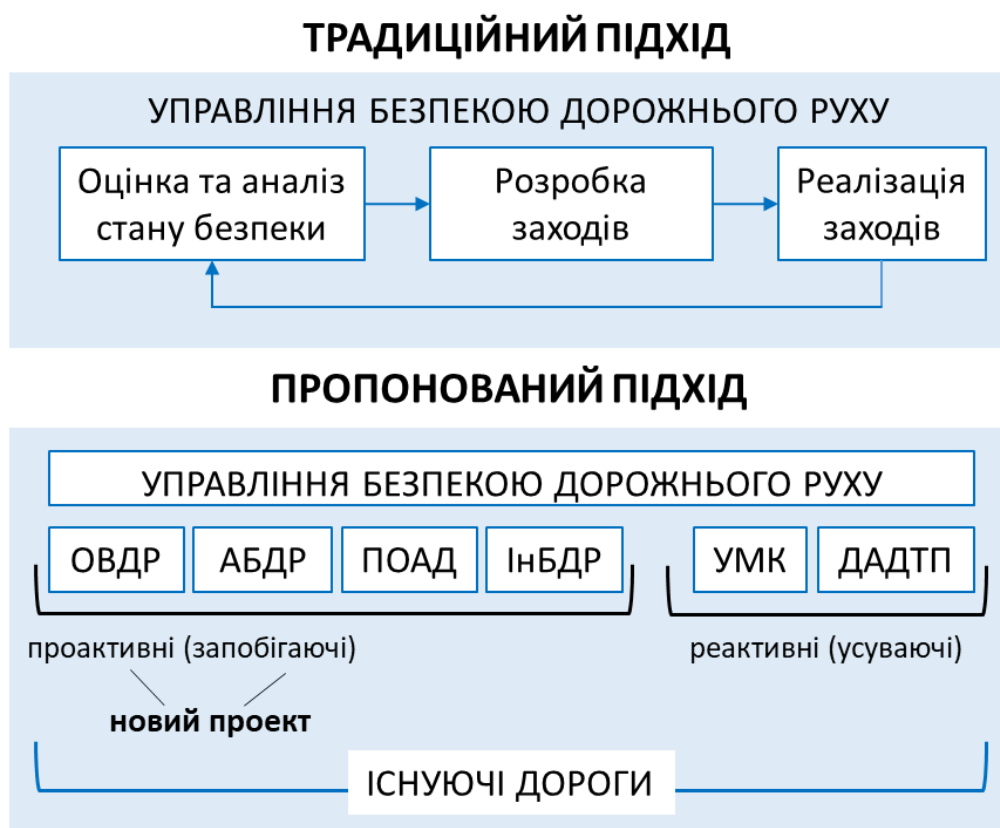


Рисунок 5.2 – Порівняльний аналіз визначення БДР за традиційним підходом та із урахуванням аудиту БДР

Джерело: розроблено автором

Так можливо ліквідувати більшу кількість місць концентрації ДТП, що призведе до зменшення ризиків виникнення ДТП. Коректне розгалуження транспортних потоків, встановлення штучних огорожень, покращення освітлення, високоякісна дорожня розмітка та застосування дорожніх знаків із високим ступенем відбиття світла – усе це і є фактично типовими економними заходами, які підвищують рівень БДР на дорогах. У підсумку необхідно сформулювати обґрунтований перелік заходів для усунення виявлених недоліків на складних ділянках транспортної мережі. При цьому перевага має надаватися високоефективним та економічно доцільним рішенням. Остаточний вибір рішення базується на аналізі вигід і витрат, головна мета якого — встановити пріоритетність впровадження заходів на місцях концентрації ДТП, що може здійснюватися двома способами: 1) вибір найбільш ефективних заходів у межах існуючого бюджету; 2) визначення обсягу фінансування, необхідного для досягнення заданого рівня підвищення безпеки БДР. У більшості випадків превалює підхід,

пов'язаний із вирішенням першої задачі, оскільки обсяги бюджетів є завжди обмеженими. Тоді для вирішення задачі аналізу вигід та витрат до необхідної первинної інформації відносяться: 1) робочий перелік місць концентрації ДТП; 2) проект та кошторис запропонованих заходів підвищення БДР для означених складних ділянок транспортної мережі.

До етапів процедури аналізу вигід та витрат слід віднести:

- розрахунок річних витрат на обрані заходи організації ДР;
- оцінка кількості попереджених ДТП;
- розрахунок показника рентабельності при реалізації заходів;
- визначення пріоритету заходів.

Результатом отримання переліку місць концентрації ДТП за пріоритетами є створення національної програми (НП) по їх усуненню на транспортній мережі країни [64]. В НП повинні бути встановлені середньо- та довгострокові цілі у галузі БДР. Основною метою НП має стати зменшення соціальних та економічних втрат, спричинених ДТП і травматизмом; а це передбачає:

- економічно доцільне впровадження технічних і організаційних рішень для підвищення безпеки дорожнього руху на ділянках із зафіксованими випадками тяжких ДТП;

- посилення міжвідомчої взаємодії та залучення ключових стейкхолдерів для мобілізації ресурсів і фінансування пріоритетних заходів з метою мінімізації ризиків виникнення ДТП.

Такий підхід суттєво впливає на планування економічних витрат для підвищення соціальної ефективності ДР та його безпеки [62-63].

ДТП залишаються серйозною загрозою для соціально-економічної стабільності країн, спричиняючи значні втрати людського потенціалу та ВВП. Зниження травматизму та смертності на дорогах є пріоритетним напрямом державної політики у контексті досягнення ЦСР. Отже, аудит БДР є не лише ефективним інструментом інжинірингу та управління ризиками, а й важливою складовою реалізації принципів сталого розвитку. Він дозволяє системно виявляти критичні недоліки на всіх етапах життєвого циклу транспортних об'єктів (від проектування до експлуатації й

модернізації), забезпечуючи цим превентивне зниження аварійності. Завдяки інтеграції в аудит БДР соціальних, економічних та екологічних індикаторів, його результати безпосередньо сприяють досягненню таких ЦСР, як збереження життя та здоров'я (ЦСР 3), розвиток сталої інфраструктури (ЦСР 9), безпечні міста (ЦСР 11), зменшення соціальної нерівності (ЦСР 10) та скорочення впливу на довкілля (ЦСР 13 і 15). Таким чином, аудит БДР трансформується зі стандартної технічної процедури у стратегічний інструмент інтегрованого національного розвитку країни.

Запропонований концептуальний підхід до імплементації аудиту БДР поєднує технічні, економічні, соціальні та екологічні індикатори ефективності, що забезпечує міждисциплінарні технології до оцінки інфраструктурних рішень і формує підґрунтя для сталого розвитку транспортної системи. Інтеграція цілей сталого розвитку (ЦСР 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15 та 17) у процедуру аудиту БДР дозволяє не лише підвищити БДР, а й забезпечити соціальну справедливість, екологічну відповідальність та економічну доцільність. В умовах України, особливо у післявоєнний період, запровадження технологій аудиту БДР є необхідним кроком для мінімізації збитків від ДТП та для забезпечення адаптивності транспортної інфраструктури до нових викликів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку індикаторів ефективності екологічних заходів аудиту БДР у конкретних регіональних умовах, а також на формування національної програми пріоритетів з урахуванням доступного фінансування.

6 АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ ТА НА ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Ключова задача забезпечення безпеки руху на автомобільних дорогах, як загального користування, так і місцевих – в населених пунктах, як правило вирішується застосуванням комплексу заходів, що планувальний і організаційно-технологічний характер. Очевидно, що характерні відмінності основних параметрів руху в умовах доріг загального користування і на вулично-дорожній мережі міст вимагає різних підходів до забезпечення безпеки учасників руху.

Транспортне обслуговування населення та організація руху у містах у міру зростання їх території, чисельності населення та підвищення рівня автомобілізації складаються у найважливішу містобудівну проблему. Ці питання стали найбільш актуальними в останнє десятиліття для більшості великих і найбільших міст багатьох країн та України зокрема.

Нині рівень автомобілізації у містах економічно розвинених країн сягає 400 авт./1000 чол. і причиною транспортних проблем сучасних міст є планувальна організація територій, розроблена, переважно у минулому столітті і виконана на розрахунковий рівень автомобілізації населення – 40-100 авт./1000 чол. Через щільну забудову районів, мікрорайонів, кварталів та збереження параметрів вулиць, закладених у першій половині минулого століття у центральних частинах міст, вулично-дорожня мережа не справляється з потоком автотранспорту, отже, не задовольняє сучасним вимогам.

Зростання потреб сучасного міського населення, необхідність забезпечення господарської діяльності безлічі підприємств та організацій є основними причинами того, що мешканці міст дедалі частіше використовують автомобіль, а на вулицях та дорогах відбувається слабоорганізований транспортний процес, що тягне за собою необґрунтовані перепробіги. Транзитні транспортні потоки через центральну частину міста – особлива проблема.

Сучасні міста характеризуються також розповсюдженням будівництва великих житлових та офісних будівель без будь-яких транспортних удосконалень у їх околицях. Тим самим було демонструється відсутність адекватного розуміння міських транспортних проблем. Це призводить як до зростання кількості автомобілів, і до інтенсифікації їх використання. Обидві ці тенденції цілком передбачуваним чином призводять до негативного впливу транспорту на якість життя та міського середовища.

Підґрунтя для забезпечення безпеки, та ефективності дорожнього руху забезпечується раціональними рішеннями щодо транспортного планування міської території.

В якості основної транспортної характеристики сучасних міст можна виділити основні транспортні проблеми, властиві сучасним містам:

Об'єктивні проблеми:

- зростання рівня автомобілізації населення;
- збільшення інтенсивності використання індивідуального транспорту;
- зниження частки громадського транспорту в пасажирських перевезеннях;
- збільшення потреби мешканців міста у переміщеннях;
- диспропорція між рівнем автомобілізації та темпами дорожнього будівництва;
- містобудівні, планувальні проблеми розвитку міської території.

Суб'єктивні проблеми

- недосконалість системи організації та управління розвитком дорожньо-транспортного комплексу;
- недостатня законодавча база на місцевому та регіональному рівні у галузі управління транспортною системою міста, регіону;
- недостатня інформаційна складова під час прийняття управлінських рішень;
- недоліки фінансування розвитку вулично-дорожньої мережі та транспортної інфраструктури;
- невирішеність майнових питань та питань розмежування прав власності та управління об'єктами транспортної інфраструктури;
- негативний вплив людського фактору.

Ключовим негативним наслідком зростання рівня автомобілізації являється негативна картина аварійності на автомобільних дорогах, що з безперечно визначальною позитивною роллю транспорту в економіці, спричиняє значні соціальні і економічні збитки.

Виходячи з основних транспортних проблем сучасних міст, можна сформулювати основні завдання розвитку міської транспортної системи, що виникають під час створення генерального плану розвитку міста і, які мають вирішуватись при вирішенні задач транспортного планування:

- створюючи планувальну структуру міста, що визначає його вигляд на сотні років, керуватися соціально-економічними, архітектурно-мистецькими та санітарно-гігієнічними вимогами, а також забезпечити максимальну швидкість та зручність пересування населення.

- пов'язувати основні фокуси тяжіння магістральними напрямками якнайкоротше. Транспортні вузли – перетин магістральних вулиць забезпечити найбільш досконалими методами організації дорожнього руху;

- плануючи транспортні лінії, створювати необхідну зручність для пішохідних підходів до зупиночних пунктів громадського транспорту;

- поперечні профілі вулиць та доріг вирішувати відповідно до прогнозованої інтенсивності транспортних потоків.

Для досягнення поставленої мети при розробці містобудівної документації у тісній творчій співпраці з архітекторами та економістами повинні працювати інженери з організації та безпеки дорожнього руху.

В міських умовах (умови руху в населених пунктах) елементи вулично-дорожньої мережі класифікуються за своїм призначенням та положенням на плані міста. Однією з найважливіших характеристик вулично-дорожньої мережі міста є її щільність, яка визначається відношенням сумарної протяжності елементів мережі до площі міської території, що обслуговується ними. Ця величина істотно впливає на економічність всього містобудівного рішення, ефективність функціонування міської транспортної системи в умовах існуючого міста, що розвивається, а також на якість транспортного обслуговування міського населення.

Вплив щільності вулично-дорожньої мережі на економічність містобудівного рішення визначається насамперед тією часткою міської площі міської території, що виділяється на влаштування вулиць та міських доріг

$$A_{\text{уд}} = \frac{A \cdot \delta \cdot b}{10} \quad (6.1)$$

де $A_{\text{уд}}$ - площа, що займається вулицями та дорогами, га;

A - площа території міста, км²;

δ – щільність вулично-дорожньої мережі, км/км²;

b – середньозважена ширина вулиці (дороги), м.

Приймаючи площу міста $A=100$ км², а середньозважену ширину вулиці (дороги) $b=30$ м, можна усвідомити, яку частину міської території необхідно виділити для розвитку вулично-дорожньої мережі при різних значеннях її щільності (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Характеристика зв'язку щільності вулично-дорожньої мережі і площі, що займається вулицями та дорогами

δ , км/км ²	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$A_{\text{уд}}$, га	300	450	600	750	900	1050	1200	1350
Частка міської території, що виділяється на улаштування вулиць і доріг, %	3	4,5	6	7,5	9,0	10,5	12	13,5

Умові забезпечення безпеки, комфортності і ефективності дорожнього руху має відповідати раціональний рівень щільності вулично-дорожньої мережі. Визначення цього рівня представляє собою складну задачу адже з одного боку безпека учасників дорожнього руху досягається їх розподілом у просторі (збільшення смуг руху, улаштування розв'язок в різних рівнях, відокремлення окремих категорій учасників руху у відокремлені коридори на проїзній частині тощо), а з іншого – таке

розосередження призводитиме і до збільшення території, яка відводиться автомобілям, що очевидно, негативним чином впливає на комфорт містян і ефективність використання земель комунальної власності і зменшенню громадського міського простору, де можуть перебувати люди з різною метою (відпочинок, прогулянки, піші пересування тощо).

Сучасні практики забезпечення безпеки дорожнього руху в містах багатьох європейських країн свідчать про сформовану тенденцію переведення фокусу популярності індивідуального автомобільного транспорту на пішохідний рух, засоби індивідуальної мобільності, велосипеди і громадський транспорт. Така тенденція отримала формулювання «стала міська мобільність». Ключова мета сталої міської мобільності полягає у забезпеченні потреб міського населення у внутрішніх пересуваннях з мінімальним вуглецевим слідом і збільшенням фізичних зусиль самої людини у процесі пересування. Окрім зниження екологічного навантаження від автомобільного транспорту, переслідується і мета покращення фізичного здоров'я людини, що досягається зростанням фізичних навантажень в процесі переміщення міською територією. Натомість для користувачів індивідуального автомобільного транспорту створюються «несприятливі» умови (введення плати на в'їзд в певні зони міста, підвищені тарифи на паркування, звуження проїзної частини, що унеможливорює швидкий рух тощо), які мають призводити до депопуляризації автомобіля, як засобу для внутрішніх переміщень.

Вітчизняна практика транспортного планування міст і організації дорожнього руху останніми роками демонструє зміну парадигми в бік «погіршення» умов для руху водіїв легкових автомобілів. Першим кроком до такого переходу було введення в дію двох ключових нормативних документів [65, 66], які містять оновлені вимоги до техніко-експлуатаційних параметрів міських вулиць і доріг. Серед іншого, зменшено ширину проїзної частини – ширина смуги руху зменшена з 3,75 м до 3,00 м для міських магістральних вулиць і доріг. На переконання авторів оновлених норм, це має формувати у водіїв відчуття стислих умов, в яких рухатись швидко неможливо.

В згаданих нормативних документах, крім зазначеного, міститься обов'язкова вимога і щодо забезпечення безпечних і комфортних умов в процесі дорожнього руху

велосипедистам, що досягається організацією як форми відокремленого руху останніх, так і в формах змішаного руху (об'єднання можливе з пішоходами, і з загальним транспортним потоком). Таким чином велосипедному руху створюються більш комфортні і безпечні умови і це має сприяти популяризації такого виду внутрішніх пересувань.

Сучасні міста, як правило найкрупніші поступово створюють більш сприятливі і безпечні умови для руху пішоходів. Так в Києві і Харкові вже на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі вже створено зони виключно пішохідного руху.

Окремо необхідно відзначити, що в містах, останнім часом набувають широкого розповсюдження і різні інженерні рішення щодо забезпечення пішоходів, зокрема застосовуються засоби створення островців безпеки, в основному - підняті, засобів захисту (боларди, огороження), а також реалізуються заходи щодо забезпечення більш низької швидкості на ділянках з особливими умовами (зі зжовтим пішохідним рухом, біля навчальних закладів тощо) із застосуванням засобів примусового зниження швидкості.

Таким чином можна заключити, що в умовах населеного пункту дорожній рух піддається широкоманітному комплексу впливів, які спрямовуються на максимальне, за можливості, розподілення учасників різних категорій у просторі, зниження швидкості руху, навіть при високих розрахункових швидкостях, які приймаються для різних категорій міських вулиць і доріг, впроваджуються заходи для досягнення більш сприятливих умов для вразливих категорій учасників дорожнього руху (пішоходи, велосипедисти, користувачі засобів індивідуальної мобільності). Це пояснюється тим, що вулично-дорожня мережа міста – щільне переплетіння автомобільних доріг з високою концентрацією різноманітних учасників дорожнього руху на відносно невеликій території, що постійно взаємодіють між собою.

Відмінна ситуація із задачею забезпечення безпеки дорожнього руху складається на автомобільних дорогах загального користування [67].

З часом і збільшенням інтенсивності руху застосуванні дорожніх знаків, розмітки й інших засобів регулювання дорожнього руху стає недостатнім для підтримки того рівня завантаження й швидкості руху, які забезпечують його

ефективність і безпеку. В цих випадках варто звертатися до більше радикальних мір удосконалення дорожніх умов небезпечних ділянок. До них відноситься: криві з радіусами меншими допустимих для розрахункової на даної дороги швидкості, криві з радіусами набагато меншими, чим сусідні криві; криві з малими радіусами, розташовані після довгої прямолінійної ділянки; нижні ділянки затяжних спусків; мости й шляхопроводи; ділянки уздовж залізниць, боліт і водостоків глибиною більше двох метрів й ін.

Заходи удосконалення організації дорожнього руху: розширення проїзної частини та зміцнення узбіччя; поліпшення відстані видимості; реконструкція радіусів кривих у плані; розширення та удосконалення вузьких місць (мостів) на дорозі; установка на небезпечних ділянках огорожень і направляючих стовпчиків; удосконалення дорожнього руху на перетинаннях; проектування об'їзних доріг.

Розширення проїзної частини та зміцнення узбіччя. Для здійснення маневру відстань між зустрічними або здійснюючий обгін автомобілями залежить від їхніх габаритів і швидкості руху. На вузьких покриттях зазор між автомобілями, що зустрічаються, а також відстань між колесом і краєм неукріпленого узбіччя виявляються недостатніми для впевненого керування автомобілями, незважаючи на зниження водія швидкості руху. Відносна кількість ДТП зростає в міру зменшення ширини проїзної частини. Використання ширини проїзної частини в значній мірі залежить від стану узбіччя й наявності біля її крайових смуг або бордюрів. Більше помітно вплив ширини проїзної частини позначається на числі подій за участю вантажних автомобілів, що мають більшу ширину, чим легкові. Велике значення для безпеки руху мають тип зміцнення узбіччя і їх стан. Чим більше різниця в умовах руху по проїзній частині й смузі, що сполучається з нею, на узбіччі, тим вище небезпека ДТП і відповідно гірше транспортні якості дороги. Було встановлено, що на дорогах із двома смугами руху після зміцнення узбіччя кам'яними матеріалами, обробленими бітумом, кількість подій зменшилося майже у два рази. Ґрунтові не укріплені узбіччя, особливо у вологі періоди року, коли бувають покриті шаром бруду, порізані глибокими коліями або розташовані нижче рівня покриття, мають поверхню, що настільки відрізняється по опорі руху та коефіцієнту зчеплення від

твердого покриття проїзної частини, що наїзд на узбіччя може привести до заносу автомобіля. Значення укріплених узбіч для безпеки й зручності руху настільки велике, що їхнє зміцнення прийде в найближчі роки виконувати в усі зростаючих обсягах.

Поліпшення відстані видимості. Видимість є одним з найважливіших факторів, що визначає безпеку руху по дорогах. З недостатньою видимістю найчастіше зв'язані ДТП при обгонах на кривих у плані й у поздовжньому профілі. При цьому кількість ДТП залежить не тільки від наявності на дорозі ділянок з недостатньою видимістю, але й від частоти їхнього розташування. Щоб забезпечити безпечну відстань видимості, варто строго витримувати відповідні радіуси вертикальних кривих, зрізки внутрішніх укосів виїмок при реконструкції по забезпеченню поля видимості. Оцінюючи відстань видимості в проектах або в натурі, варто мати на увазі наявність поздовжнього ухилу на даній ділянці дороги. Видимість у плані може виявитися недостатньою на перетинаннях в одному рівні й на кривих, розташованих у закритій місцевості (у лісі, у виїмці, на забудованих територіях). У всіх випадках необхідно визначити границі зони видимості й вжити заходів до того, щоб у межах цієї зони ніщо не заважало бачити дорогу на відстані не менше розрахункової відстані видимості. Визначивши зону видимості, необхідно прийняти міри до її розчищення: вирубка насаджень, зрізка укосу виїмки.

Реконструкція радіусів кривих у плані. Криві в плані є місцем зосередження 10-12 % ДТП, причому на ділянках кривих відбувається тим більше подій, чим менше їхні радіуси. При установі коефіцієнтів відносного впливу радіуса кривих у плані за одиницю був прийнятий коефіцієнт при радіусі 2000 м. Умови руху автомобілів по кривих таких радіусів практично не відрізняються від умов руху по прямим ділянках. При радіусах 600-700 м відбувається швидкий ріст кількості ДТП. Дослідження режиму руху автомобілів по кривих показали, що 600 м можна розглядати як мінімальне значення радіуса, при якому умови руху практично не відрізняються від руху по прямим ділянках. При менших радіусах швидкість на кривих знижуються, а водії починають робити спроби зрізати криві для уполажування траєкторії руху. Вплив радіусів кривих у плані на безпеку руху практично не залежить від ширини

проїзної частини. Це доводиться даними про кількість ДТП на кривих з різною шириною проїзної частини.

Розширення та удосконалення вузьких місць (мостів) на дорозі. Проїзд по мостах не відбувається на умовах руху автомобілів тільки в тих випадках, коли ширина проїзної частини на мостах з їздою поверху настільки мало відрізняється від ширини земляного полотна на підходах, що не робить психологічного впливу на водіїв, пов'язаного з відчуттям в'їзду у вузьку горловину, що часто обмежує видимість розташованих поперед ділянок дороги. Крім зіткнень автомобілів на мостах, типові події, пов'язані з наїздом автомобілів на тумби, що утворюють на підходах своєрідну горловину при в'їзді на міст. Приближення поруччя й тротуарів на мостах до проїзної частини зменшує ефективну ширину покриття. Для поліпшення видимості розташовані поблизу від дороги частини мостів - поруччя, бордюри, портали ферм із їздою понизу, огороження повинні бути позначені вертикальною розміткою, бажано з додаванням у фарбу світловідбиваючих кульок.

Установка на небезпечних ділянках огорожень і направляючих стовпчиків. Огороження на автомобільних доріг встановлюють для запобігання ДТП або впорядкування руху пішоходів. Огороження діляться на дві групи. Першу становлять бар'єрні конструкції, парапети й ін., призначені для втримання транспортних засобів на земляному полотні, мостах, шляхопроводах. Друга група, до якої ставляться сітки, конструкції поручневого типу, використовуються для запобігання виходу на проїзну частину тварин. Огороження знижують як імовірність виникнення ДТП, так і вагу їхніх наслідків. Разом з тим важкі наслідки - від ушкодження транспортного засобу до загибелі людини - може викликати сам по собі наїзд на огороження. Тому там, де це можливо, варто приймати інші міри підвищення безпеки руху: збільшувати радіуси кривих, зменшувати крутість укосів та ін. Направляючі пристрої, що орієнтують водіїв по напрямку дороги, виконують у вигляді залізобетонних, дерев'яних або пластмасових стовпчиків з ката фотами або смужками світловідбиваючої плівки. Відстань між стовпчиками на прямих ділянках — 50 м, на кривих — 5-25 м залежно від радіуса закруглення. Стовпчики встановлюють попарно

по обидва боки дороги. На лівому стовпчику кріпиться білий катафот, на правому — червоний.

Удосконалення дорожнього руху на перетинаннях. Перетинання автомобільних доріг в одному рівні. Ділянки доріг на перетинаннях працюють при підвищеній інтенсивності руху, що складається з потоків транспорту по пересічних напрямках. Частина автомобілів виконує на перетинаннях повороти, що затрудняють проїзд транспортних засобів, що впливають у прямому напрямку. Режим руху транспортних потоків при проході через перетинання міняється, оскільки для учасників руху не завжди бувають ясні наміри інших водіїв, нечітко або несвоєчасно виконуючі перебудування або вимоги подачі сигналів про поворот, що готується. Найнебезпечнішими є примикання й перетинання доріг під порівняно гострим кутом, коли при правому повороті автомобіль, що не вписується у свою смугу руху, змушений заїжджати на смугу зустрічного руху, а лівий поворот відбувається по кривій дуже великого радіуса. Одним з можливих способів підвищення безпеки руху на перетинаннях в одному рівні, особливо при декількох пересічних дорогах, є пристрій перетинань кільцевого типу, а так само установка знаків обмеження швидкості на підходах до кільцевих перетинань.

Перетинання доріг у різних рівнях. Вплив на безпеку руху перетинань у різних рівнях не може бути оцінене досить точно, оскільки звичайно сполучається із загальним поліпшенням дороги. Деяке подання про підвищення безпеки руху, що досягає при пристрої перетинань у різних рівнях, може бути отримане шляхом зіставлення ДТП на старих дорогах і на побудованих паралельно їм швидкісних автомобільних магістралей, на які перемкнувся потік руху. Для безпеки й чіткої організації руху водіям повинно бути зрозумілі напрямки руху на перетинаннях у різних рівнях. Це вимагає установки дорожніх знаків та їх дублювання. Безпека руху на перетинах в різних рівнях у великому ступені залежить від наявності на них додаткових смуг розгону й уповільнення на проїзній частині (перехідно-швидкісних смуг).

Проектування об'їзних доріг. Дороги із транзитним рухом, що проходять через малі населені пункти, ріжуть їх на частини, зв'язок між якими стає ускладненим через

потоки автомобілів. Близьке розташування будинків і споруджень від крайки проїзної частини, що стоячих на узбіччі автомобілів, рух пішоходів, кінних візків, велосипедистів і місцевого транспорту ускладнюють пропуск транзитного руху. Тому ділянки доріг, що проходять через населені пункти, завжди характеризуються більшою, ніж загородні ділянки, кількістю ДТП, переважно в результаті наїздів на пішоходи, велосипедистів й автомобілі, що стоять на узбіччях. Проектуючи заходи, пов'язані з підвищенням безпеки руху в населеному пункті, - тротуари, велосипедні доріжки, варто враховувати, що вплив населеного пункту починає проявлятися за 500-600 м, тому необхідно забезпечувати видимість крайніх будинків населеного пункту із цієї відстані. Вимоги безпеки руху й підвищення ефективності автомобільних перевезень змушують у багатьох випадках будувати обходи населених пунктів на існуючих дорогах та їх благоустрій. Відносна ймовірність дорожньо-транспортних пригод на кожній з ділянок може бути оцінена узагальненим підсумковим коефіцієнтом аварійності, що обчислюють як добуток приватних коефіцієнтів відносної кількості події на різних ділянках дороги. Найбільш безпечною для руху є плавна траса без різких переломів у плані й профілі що допускає рух автомобілів з високими швидкостями, які мало відрізняються на суміжних ділянках. Тому одним зі способів оцінки плавності траси та різні варіанти проектних ліній з погляду зручності й безпеки руху може з'явитися побудова по даним епюри швидкостей руху одиночного автомобіля графіка коефіцієнтів безпеки, що представляє собою відношення швидкостей руху на суміжних ділянках.

Таким чином можна заключити, що забезпечення безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування і на вулично-дорожній мережі міст має ключові відмінності. Це має враховуватись при вирішенні споріднених задач, починаючи з підготовки кадрового забезпечення дорожньо-транспортної галузі, розвитку комплексу технічних засобів організації руху, впровадження новітніх технологій і систем автоматичного управління.

7 УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ЯК МЕХАНІЗМ БАЛАНСУВАННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ПЛАНУВАННІ МІСЬКОЇ ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

Автомобілізація поряд з безумовно, позитивним впливом на економіку та соціальний розвиток держави приносить також і негативні наслідки, пов'язані з великою кількістю дорожньо-транспортних пригод (ДТП), значними матеріальними збитками, негативним впливом на екологічний стан у містах, заповненням вулиць припаркованими автомобілями.

Зростання кількості транспортних засобів, інтенсивності та швидкості дорожнього руху потребує створення необхідних умов для забезпечення зручності й безпеки транспортного процесу. Для цього вулично-дорожня мережа повинна відповідати вимогам транспортно-експлуатаційних характеристик. Однією з основних характеристик руту транспортного потоку є швидкість руху, що також є одним з показників безпеки руху.

Швидкість визначається як основний фактор ризику потрапляння в дорожньо-транспортні пригоди та збільшення тяжкості травм, отриманих в них [68]. Це відбувається через те, що чим більше швидкість, тим більшу відстань проїде автомобіль за той час, поки водій буде приймати рішення, і тим більше буде відстань, яка необхідна для зупинки. Велика ймовірність серйозних травм в дорожньо-транспортних пригодах, викликаних високою швидкістю, обумовлена тим, що чим вище швидкість, тим більша кількість механічної (кінетичної) енергії повинно бути поглинена ударом.

За даними досліджень [69] важкі травми є результатом «енергетичного обміну». Кінетична енергія, яка буде поглинена, дорівнює половині маси, помноженої на квадрат швидкості, що ілюструє той факт, що негативні наслідки впливу швидкості значно зростають у міру її збільшення. Рівень пошкодження тіла буде залежати від форми і жорсткості поверхонь або об'єктів, які стикаються, але швидкість зазвичай грає найбільш критичну роль [70]. При аварії фізично неможливо будь-якому

пасажиру надійно утримати незакріплений об'єкт, наприклад дитини. При зіткненні на швидкості всього в 50 км/год вага дитини може істотно збільшитися в 20 разів і 5-ти кілограмова дитина стане важити близько 100 кг протягом частки секунди [72].

У вразливих учасників дорожнього руху, таких як пішоходи, водії мопедів і мотоциклів, є високий ризик отримання важкої або смертельної травми в разі їх зіткнення з транспортним засобом. Імовірність того, що пішохід буде убитий при зіткненні з транспортним засобом, катастрофічно зростає зі збільшенням швидкості. Дослідження показують, що тоді як при наїзді транспортного засобу на уразливого (незахищеного) учасника дорожнього руху на швидкості 30 км/год в більшості випадків такі учасники виживають, то при швидкості транспортного засобу 50 км/год більшість з них будуть вбиті [72] рис. 7.1.

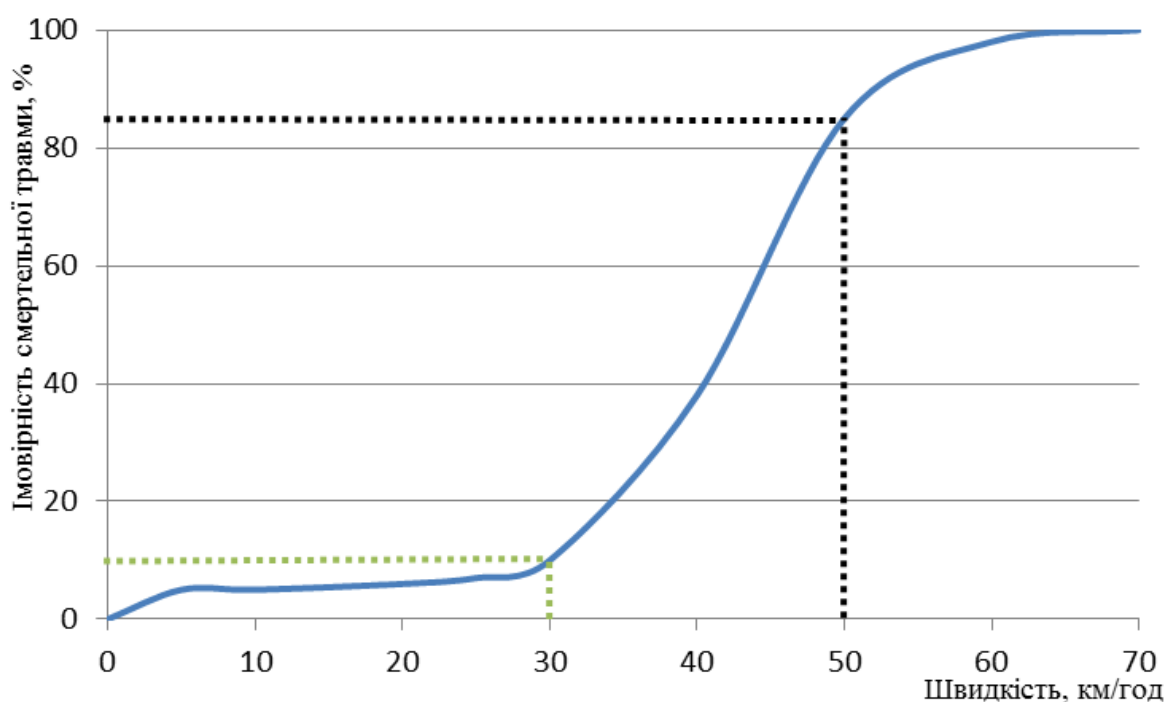


Рисунок 7.1 - Імовірність отримання смертельної травми при зіткненні пішохода і транспортного засобу [72]

У більшості серйозних дорожньо-транспортних пригодах та подій зі смертельними наслідками травми викликані навантаженнями і прискореннями, що перевищують ті, які може витримати людське тіло, і які наносяться деякими частинами автомобіля [73]. Стійкість людини до травм, що наноситься автомобілем,

буде перевищена, якщо швидкість транспортного засобу становить більш ніж 30 км/год. Як продемонстровано на рис. 7.1, у пішоходів ризик отримання смертельної травми при зіткненні з транспортним засобом на швидкості 50 км/год становить близько 80%.

Більш високі швидкості можна було б допустити, за умови, що при проектуванні дорожньої інфраструктури передбачався захист транспортного засобу в разі аварії. Високі швидкості підвищують ризик потрапляння в дорожньо-транспортну пригоду тому, що водій не в змозі передбачити насування загрози. Дослідження показали, що для прийняття рішення може знадобитися всього лише одна секунда, але в одному з досліджень [74] було встановлено, що в більшості випадків необхідно від 1,5 до 4 секунд (рис. 7.2). На рисунку показані відстань в метрах, необхідна для реакції водія, і довжина гальмівного шляху.

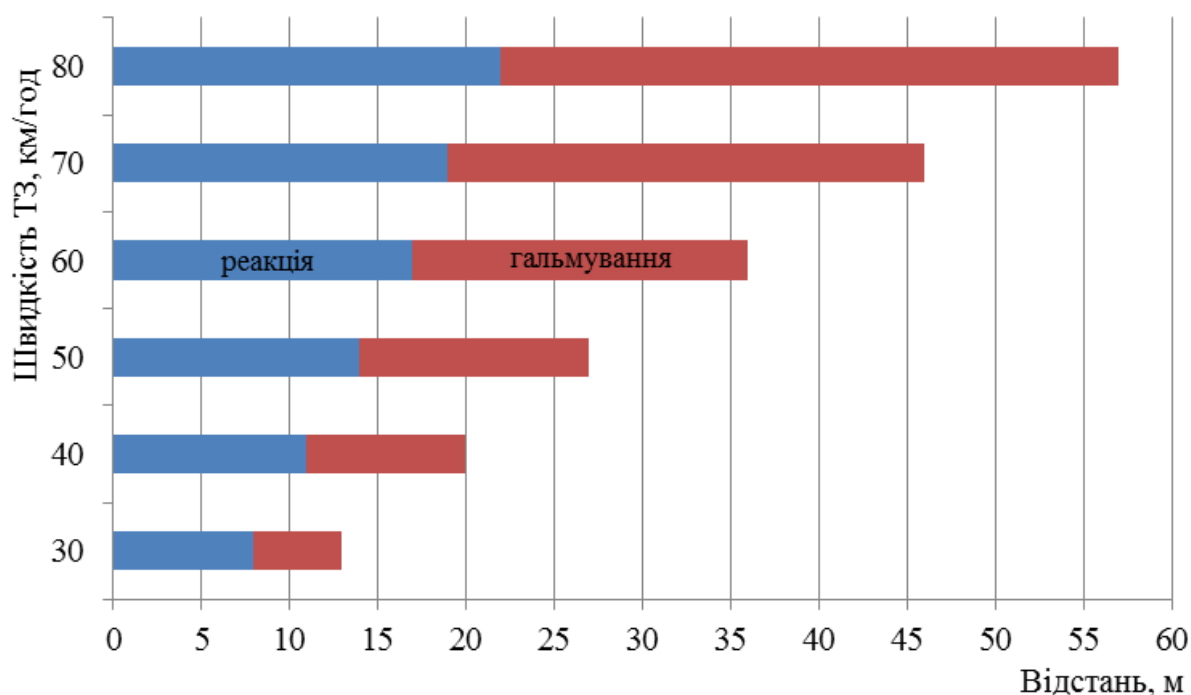


Рисунок 7.2 - Приклади гальмівного шляху при екстремумі гальмуванні [72]

Існує значна кількість досліджень, що проводилися в усьому світі (але в основному в країнах з високим рівнем доходів), які наочно демонструють взаємозв'язок між швидкістю і ризиком [75, 76, 77].

Виходячи з викладеного, можна зробити відповідний висновок - чим більше швидкість, тим вище ймовірність аварій, травматизму і смертності, а зменшення швидкості знижує такі ймовірності. Одним з таких прикладів є модель потужності [78], яка оцінює вплив в змінах середньої швидкості на кількість дорожньо-транспортних пригод та на їх тяжкість. Вона вважає, що збільшення середньої швидкості на 5 % призведе до підвищення кількості дорожньо-транспортних пригод з випадками травматизму приблизно на 10 % і зі смертельними випадками приблизно на 20 % (рис. 7.3).

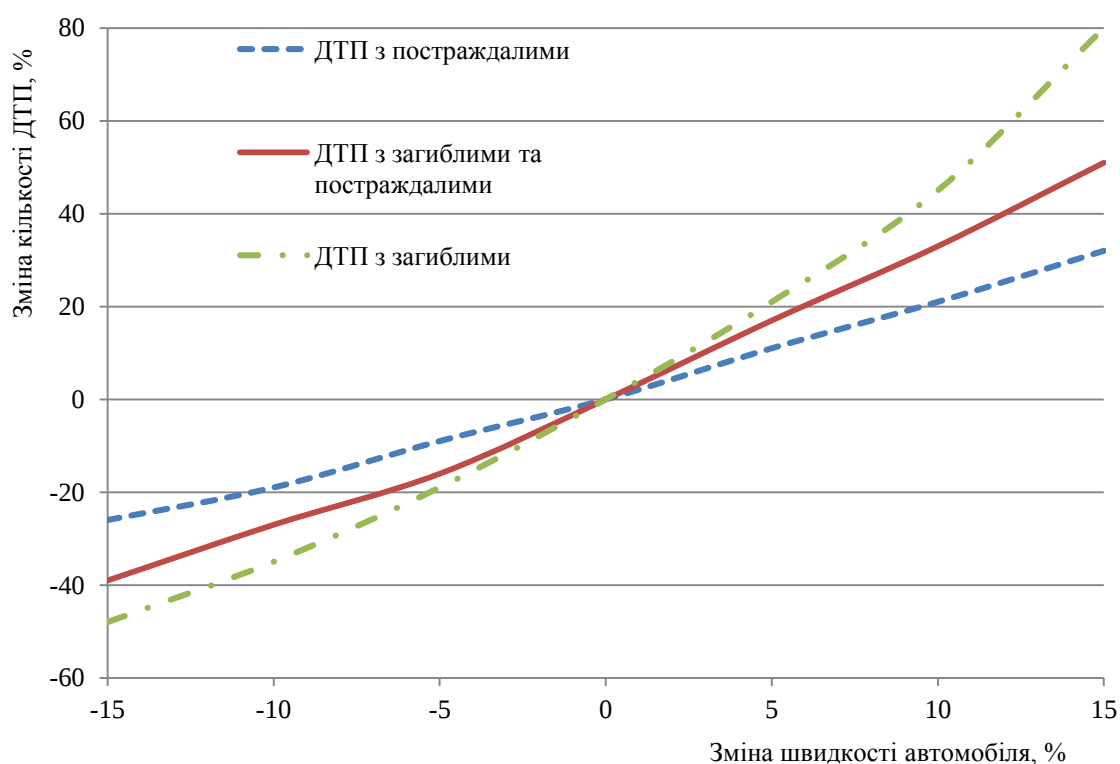


Рисунок 7.3 - Взаємозв'язок між змінами швидкості і змінами в дорожньо-транспортних пригодах (у відсотках)

Цей взаємозв'язок є результатом як законів фізики, так і когнітивних здібностей водія приймати рішення в несподіваних обставинах. При більш високих швидкостях швидкість удару при аварії збільшується, так само як і сили, які транспортний засіб і пасажери повинні поглинути. Більш високі швидкості також означають, що учасники дорожнього руху мають меншу можливість для прийняття превентивних заходів.

Управління швидкістю включає в себе ряд заходів, спрямованих на забезпечення балансу між безпекою та ефективною швидкістю руху транспортних засобів по дорожній мережі [72]. Мета управління швидкістю - знизити кількість випадків занадто швидкої їзди і довести до максимуму дотримання обмежень швидкості. Оптимальна швидкість в контексті системи безпеки – це швидкісний режим, головною метою якого є безпека руху в умовах мобільності і умов дорожнього руху, що склалися, таких як: благоустрій узбіч, неоднорідність учасників дорожнього руху, частота доступу до дороги (включаючи перехрестя), інтенсивність і неоднорідність транспорту, екологічні проблеми та якість життя населення, що проживає уздовж дороги. Для керування швидкістю необхідно використовувати комплекс заходів, які включають виконання законів, проектування інфраструктури та освіти.

При розгляді питань впливу на проблеми швидкості слід враховувати фактори, що впливають на вибір водієм швидкості (рис. 7.4).

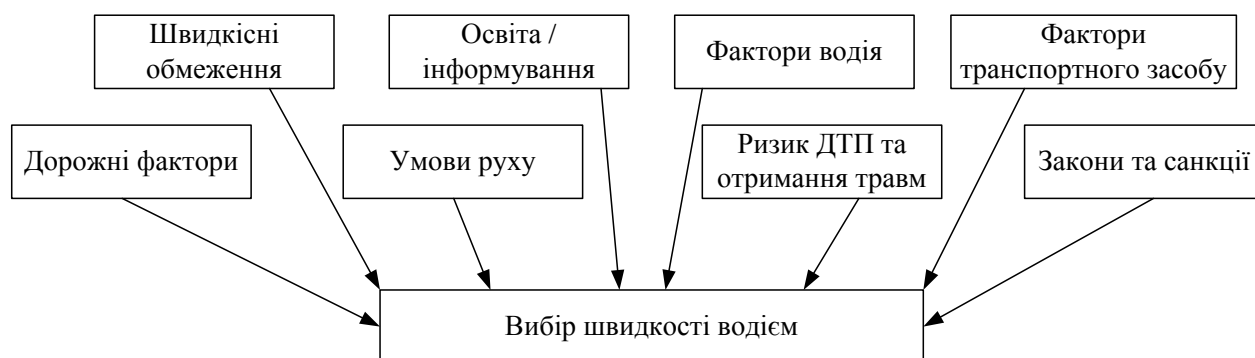


Рисунок 7.4 - Фактори, що впливають на вибір швидкості

Вибір обмеження швидкості є основним індикатором безпечної швидкості на конкретній ділянці дороги. При встановленні відповідних обмежень по швидкості необхідно розглянути наступну інформацію, що відноситься до конкретної ділянки дороги:

- вимірювання середньої швидкості;
- вивчення транспортного потоку і його структури;
- аналіз даних про дорожньо-транспортні пригоди;

- інформацію про перевищення швидкості;
- розрахункову швидкість і критерії, які використовуються при будівництві або ремонті дороги;
- землекористування та доступ до приватних земельних ділянок, прилеглих до дороги;
- фізичні властивості дороги і узбіч;
- наявність уразливих учасників дорожнього руху.

8 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЕЛЕМЕНТІВ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

Глобальна тенденція останніх десятиріч свідчить про стрімку автомобілізацію та зростання інтенсивності дорожнього руху, що безпосередньо зумовлює збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та погіршення їхніх наслідків. За оцінками ВООЗ, дорожній травматизм став серйозним викликом для системи охорони здоров'я, а до 2030 року аварійність може увійти до п'ятірки головних причин смертності у світі [79].

В Україні специфіка цієї проблеми тісно пов'язана з міською інфраструктурою: 70 % усіх ДТП стаються на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міст, причому три чверті з них припадають саме на однорівневі перехрестя. Загалом у масштабах країни аварії на таких вузлах становлять близько 53 % від загальної кількості [79].

Головне завдання транспортної розв'язки — забезпечити безпеку, комфорт та зручність під час маневрування, перетину, злиття чи розгалуження транспортних потоків. Проте неефективна організація руху призводить до появи заторів, збільшення затримок, перевитрати палива та прискореного зносу деталей автомобілів. Крім того, через нестабільний режим руху та постійні зупинки на перехрестях різко зростає концентрація шкідливих викидів у міському повітрі [80, 81].

У зв'язку з цим критично важливого значення набуває збір об'єктивних даних шляхом натурних спостережень (для фіксації інтенсивності та складу потоку) та подальше комп'ютерне моделювання. Саме ці інструменти дозволяють ухвалювати точні та ефективні рішення у сфері організації дорожнього руху.

Дорожній рух є складним соціотехнічним процесом, який об'єднує велику кількість взаємопов'язаних елементів, що робить проведення масштабних натурних експериментів практично неможливим. Через це провідним методом дослідження параметрів функціонування діючої вулично-дорожньої мережі (ВДМ) стає моделювання. Сьогодні воно є базовим та науково обґрунтованим інструментом для

оцінювання характеристик будь-яких складних систем, зокрема й транспортних.

Тестування нових схем організації дорожнього руху (ОДР) безпосередньо на реальних магістралях суттєво обмежене через високу вартість таких заходів та, щонайперше, через суворі вимоги до безпеки руху. У таких умовах імітаційне моделювання (ІМ) демонструє найбільшу ефективність. Його ключова перевага полягає в можливості аналізувати системи будь-якого рівня складності, коли натурний експеримент є нереалізованим з етичних міркувань, становить загрозу для життя і здоров'я людей або вимагає надмірних фінансових витрат [82, 83, 84].

Зіставлення переваг і недоліків розглянутих програмних комплексів імітаційного моделювання зумовило вибір на користь PTV Vissim. Попри певні функціональні обмеження, ця платформа залишається одним із найбільш ефективних та затребуваних інструментів у сфері транспортного моделювання. Використання PTV Vissim дозволяє суттєво оптимізувати роботу проектувальника, забезпечуючи водночас наочну візуалізацію для комплексної оцінки розрахунків та отриманих результатів.

Процес створення імітаційної транспортної моделі було реалізовано за допомогою програмного комплексу PTV Vissim. Базову структуру вхідних даних для моделювання склали такі параметри [85]:

- геометричні характеристики вулично-дорожньої мережі (протяжність ділянок, ширина проїжджої частини, кількість смуг руху);
- кількісні та якісні показники транспортних потоків (інтенсивність руху на входах до досліджуваних ділянок, структура та склад потоку);
- інтенсивність руху пішоходів;
- наявність та розташування зупинкових пунктів громадського транспорту тощо.

Алгоритм розробки імітаційної моделі в середовищі Vissim охоплює кілька ключових етапів, перелік яких наведено нижче (див. табл. 8.1).

Об'єктом досліджень в даній роботі є транспортний вузол Харківська площа у Дарницькому районі м. Києва. Район дослідження має розвинену мережу вулиць і доріг.

Таблиця 8.1 – План побудови імітаційної моделі в VISSIM (основні етапи)

Назва та послідовність виконання етапу	Вид робіт
Побудова дорожньої мережі	Зображення відрізків доріг Зображення поворотів Організація зустрічного руху Створення смуг розгону і гальмування Нанесення дорожньої розмітки
Введення транспортного потоку	Внесення даних про інтенсивності потоків Визначення складу ТЗ Прокладання маршрутів ТЗ Введення правил пріоритету в конфліктних зонах
Моделювання руху пішоходів	Створення пішохідного потоку Визначення щільності і складу потоку Прокладання маршрутів руху пішохідних потоків Розбір конфліктних зон Створення та встановлення світлофорних об'єктів
Моделювання руху ГТ	Створення зупинок Прокладання маршрутів ГТ з зазначенням зупинок і розкладу

Ситуаційний план транспортної мережі району наведена на рис. 8.1. Транспортний вузол, на якому здійснюється реконструкція світлофорного об'єкту, утворюються одними з головних автотранспортних магістралей м. Києва: просп. Миколи Бажана, Харківське шосе, магістральні вулиці районного значення: вул. Кооперативна, вул. Світла та вул. Старобориспільська, а також автомобільна дорога Бориспільське шосе.

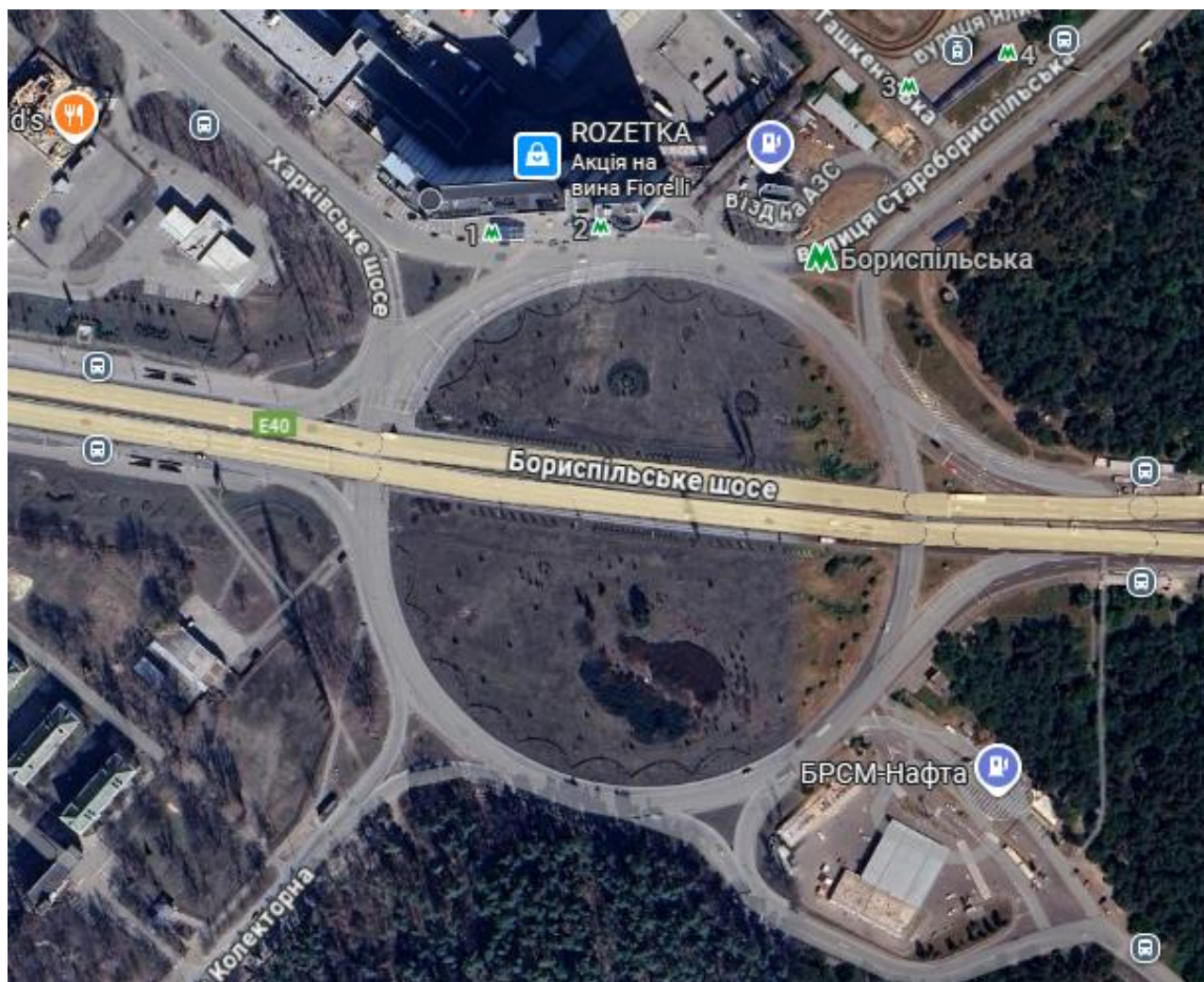


Рисунок 8.1 – Ситуаційний план об'єкту дослідження

Специфіка району дослідження зумовлена концентрацією об'єктів транспортного та пішохідного тяжіння, серед яких – бізнес-центри, навчальні заклади, зупинки громадського транспорту тощо. Ключовою особливістю дорожніх умов аналізованого об'єкта є висока інтенсивність транспортних потоків, які мають переважно транзитний характер.

Це пояснюється стратегічним розташуванням Харківської площі на вхідному транспортному коридорі до Києва зі східного напрямку.

Характеристика вулиць, що утворюють транспортний вузол приведена у табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Характеристика транспортного вузла

Найменування ділянки	Існуючі параметри ділянок			Класифікація згідно ДБН Б.2.2-12:2019
	Протяжність ділянки	Ширина проїзної частини	Тип поперечного профілю	
1	2	3	4	5
просп. Миколи Бажана	203,00 м	32,00 м (2 м розділова смуга)	міський	магістральна вулиця загальноміського значення безперервного руху
Харківська площа	810,00 м	від 11,00 до 17,00 м	міський	магістральна вулиця загальноміського значення регульованого руху
Харківське шосе	160,00 м	17,00 м	міський	магістральна вулиця загальноміського значення регульованого руху
вул. Світла	25,00 м.	від 5,80 м до 7,50 м	міський	магістральна вулиця районного значення безперервного руху
вул. Старобориспільська	20,00 м.	від 8,50 м до 10,20 м	міський	магістральна вулиця загальноміського значення регульованого руху
Бориспільське шосе	190,0 м.	39,20 м (розділова смуга 3,2 м)	міський	магістральна дорога безперервного руху (з переходом в автомобільну дорогу загального користування категорії I-a)

Дані про інтенсивність та склад транспортних потоків на об'єкті отримані в результаті візуального вибіркового обліку руху, що проводився у жовтні 2025 р. По результатам обліку, транспортні потоки складаються з:

- легкових автомобілів	77,36 %
- вантажних автомобілів вантажопідйомністю до 2 т	3,14 %
- вантажних автомобілів вантажопідйомністю від 2 до 6 т	3,88 %
- вантажних автомобілів вантажопідйомністю від 6 до 8 т	3,04 %
- вантажних автомобілів вантажопідйомністю від 8 до 14 т	2,26 %
- вантажних автомобілів вантажопідйомністю більше 14 т	1,63 %
- мікроавтобусів	4,30 %
- автобусів	2,51 %
- зчленований автобус	0,75 %
- велосипед	0,74 %
- мотоцикл	0,39 %

На рисунках 8.2-8.3 наведено інтенсивність транспортних потоків по напрямкам руху на об'єкті в прив. од./год.

Ділянки магістральних вулиць і доріг, що утворюють транспортний вузол «Харківська площа», не належать до місць концентрації ДТП. Попри це, зазначений вузол характеризується складними умовами руху. Це зумовлено високою інтенсивністю транспортних потоків, щільним розташуванням зон їх переплетення, а також безпосередньою близькістю об'єктів масового тяжіння населення.

Діюча схема організації дорожнього руху (ОДР) на об'єкті дослідження базується на використанні дорожніх знаків, горизонтальної розмітки та засобів світлофорного регулювання. Світлофорні об'єкти контролюють рух транспортних потоків практично на всіх підходах до вузла, зокрема з боку проспекту Миколи Бажана, Бориспільського та Харківського шосе, вулиць Старобориспільської і Світлої, а також безпосередньо на розподільчому колі Харківської площі.

Геометрія маневрування на ключових підходах має такі особливості:

- з Харківського шосе: транспортний потік спрямовується у напрямку просп. Миколи Бажана та Харківської площі, водночас безпосередній лівий поворот на Бориспільське шосе заборонено;
- з Бориспільського шосе: рух дозволено прямо (у напрямку вул. Старобориспільської) або на Харківську площу (для подальшого руху по колу).

Крім того, на з'їзді з Харківської площі в напрямку Харківського шосе облаштовано наземний нерегульований пішохідний перехід.

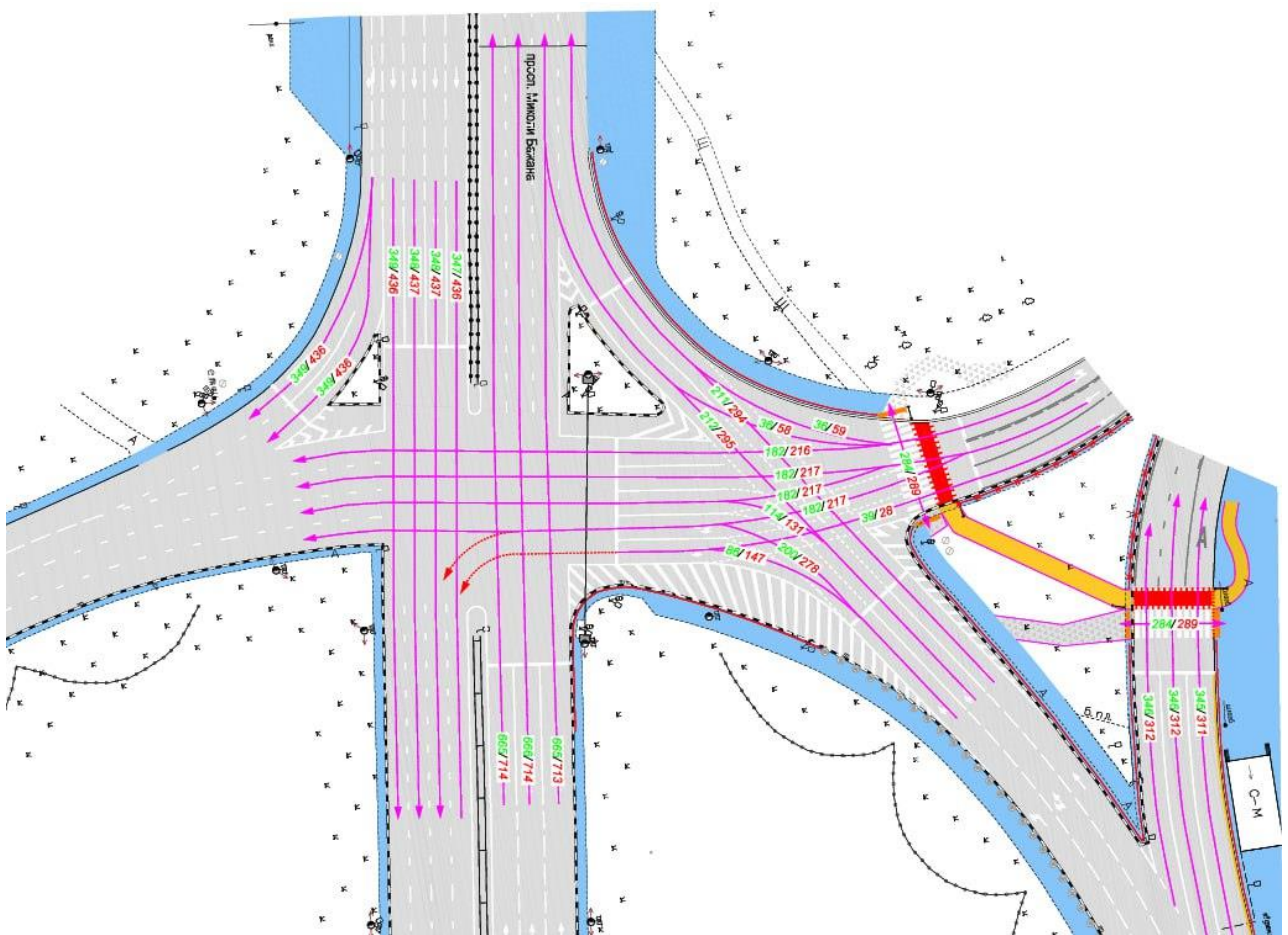


Рисунок 8.2 – Інтенсивність транспортних потоків по напрямкам зі сторони просп. Миколи Бажана та Харківського шосе

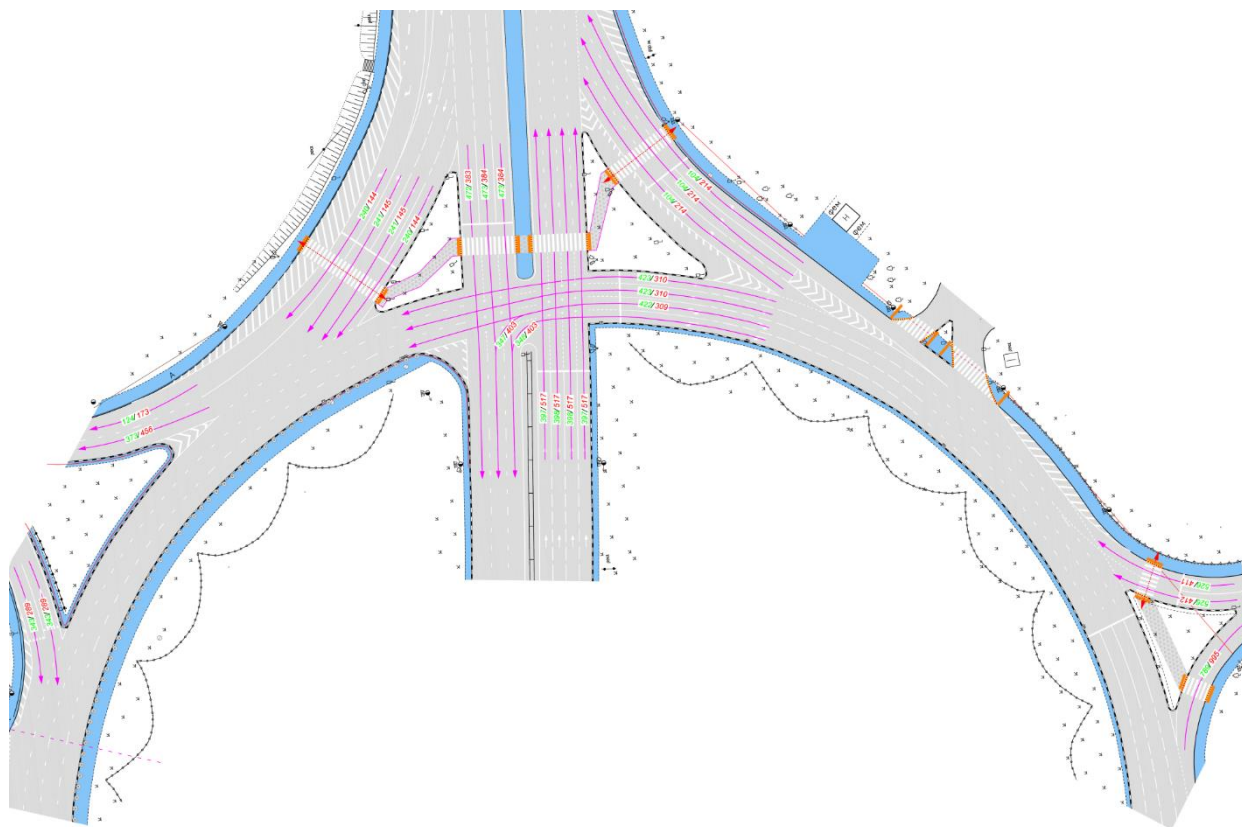


Рисунок 8.3 – Інтенсивність транспортних потоків по напрямкам зі сторони Бориспільського шосе

Проектні рішення щодо модернізації схеми організації дорожнього руху (ОДР) на Харківській площі передбачають комплекс таких заходів, зокрема оптимізацію маневрування: впровадження лівого повороту для транспортних потоків, що рухаються з Харківської площі та Харківського шосе у напрямку Бориспільського шосе, реконструкцію та будівництво пішохідної інфраструктури, що включає в себе переведення наявного нерегульованого переходу на з'їзді з Харківської площі до Харківського шосе у статус регульованого, облаштування нових регульованих пішохідних переходів на з'їзді з Бориспільського шосе на площу, через саме Бориспільське шосе (на примиканні до розв'язки), а також на виїзді з площі в бік Бориспільського шосе, технічне оснащення переходів: усі зазначені об'єкти комплектуються світлофорами з табло відліку часу та викличними кнопками, пристроями звукового супроводу, відеодетекторами, напрямним пішохідним огороженням, а також відповідними дорожніми знаками та розміткою, впорядкування геометрії вузла (облаштування організованого з'їзду та виїзду з

Харківської площі на вулицю Світлу), розвиток мікромобільності (влаштування мережі велосипедних доріжок із безпечними велосипедними переїздами).

У межах дослідження було виконано імітаційне моделювання роботи транспортного вузла «Харківська площа», що розташований у Дарницькому районі міста Києва. Розрахунки та відтворення транспортних процесів реалізовано за допомогою сучасного інфраструктурного програмного забезпечення PTV Vissim (Німеччина). Під час комп'ютерного експерименту функціонування вузла проаналізовано в умовах комбінованого дорожнього руху, що охоплює як регульовані, так і нерегульовані напрямки для транспортних і пішохідних потоків.

Завдяки розробленій імітаційній моделі було визначено ключові показники ефективності функціонування транспортного вузла «Харківська площа» (Дарницький район, м. Київ) для різних варіантів планувальних рішень. На основі цих даних проведено порівняльну оцінку результатів впровадження проєктних заходів з ОДР. Зіставлення з наявним станом організації руху (див. табл. 8.3 та рис. 8.4) продемонструвало позитивну динаміку — зменшення значень критичних показників (зокрема, часу затримок та довжини черг транспорту).

Таблиця 8.3 – Результати оцінювання ефективності ОДР на перехресті

Варіант схеми	Часові затримки ТЗ, с	Емісія CO, г	Емісія Nox, г	Емісія ЛОС, г	Витрати палива, л
До заходів	22,67	175,21	34,09	40,607	2,507
Після заходів	14,28	86,332	16,797	20,008	1,235

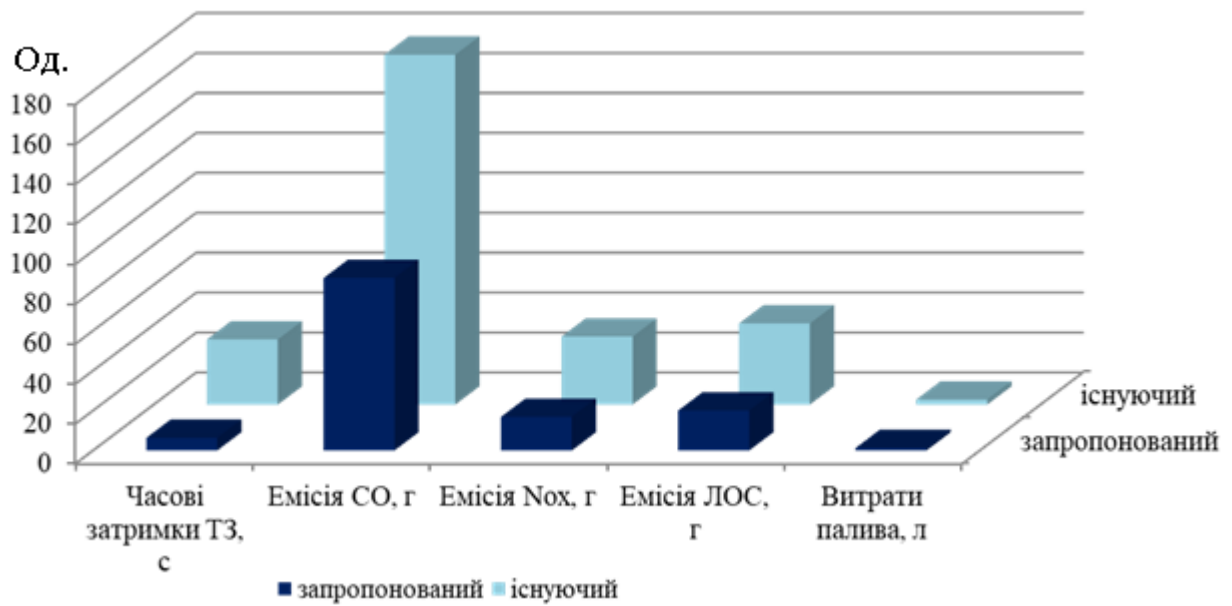


Рисунок 8.4 – Гістограма порівняння різних варіантів схем на транспортному вузлі

Наведені результати характеризують десятихвилинну імітацію руху транспорту на перехресті та є основою для проведення оцінювання наслідків введення запропонованих заходів щодо підвищення ефективності ОДР транспортного вузла Харківська площа у Дарницькому районі м. Києва.

9 МЕТОДИКА АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ БЕЗПЕРЕРВНОГО, БЕЗПЕЧНОГО І ЗРУЧНОГО РУХУ ТА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ «АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ДЕРЖАВНОГО ТА МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ — НАЦІОНАЛЬНІ ТА МІЖНАРОДНІ ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ»

Аналіз та прогнозування забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами загального користування України має ґрунтуватися на загальних закономірностях розвитку суспільства та економіки країни, з урахуванням фінансової та податкової політики держави, специфіки роботи дорожнього господарства, формування інтенсивності, швидкості та щільності руху транспортних потоків, а також існуючих дорожніх умов — головних складових продуктивності автомобільної дороги, вартості та термінівбудівництва і витрат на утримання та ремонту автомобільних доріг, попиту на рух автомобільними дорогами, інших суспільно-економічних показників, у тому числі – матеріальних збитків від ДТП, а також тяжкості їх наслідків [86-90].

Оцінка забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами загального користування допомагає встановлювати пріоритетність планування та виконання робіт із забезпечення транспортної доступності різних місць території України, а також з підвищення безпеки та зручності руху шляхом першочергового удосконалення дорожніх умов на тих ділянках доріг, що не відповідають умовам руху й є найбільш небезпечними; надавати подальшого розвитку мережі доріг через поліпшення їх транспортно-експлуатаційного стану для задоволення споживчого попиту на рух з боку користувачів автомобільних доріг [91].

Умови безперервності, безпеки руху та зручності руху на автомобільних дорогах характеризуються інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, транспортних потоків, погодно-кліматичних умов і станом аварійності, а також відповідним ресурсним забезпеченням через суспільно-економічну оцінку.

Удосконалення умов руху забезпечить виконання мети функціонування мережі автомобільних доріг – забезпечення рівномірного та безперервного наземного транспортного доступу у різні місця території України, а також переміщення людей та транспортування товарів з належною ефективністю.

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

Ефективність транспортної системи регіону АДДМ-НМТП має бути одержана завдяки підвищенню рівня безпеки руху через зменшення аварійності на автомобільних дорогах і, відповідно, втрат від ДТП (збереження життя та здоров'я людей, зменшення матеріальних збитків), а також підвищенням рівня зручності руху.

Визначення ефективності функціонування транспортної системи регіону АДДМ-НМТП зумовлене необхідністю [92-95]:

- скорочення втрат та упущеної вигоди через високу аварійність і незадовільний транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг що призводить до погіршення умов безперервності, безпеки та зручності руху транспортних потоків;
- формування програми практичних дій органів управління безпекою руху на різних рівнях в умовах структурної перебудови й реформування економіки країни та підвищення ефективності системи управління дорожнім господарством;
- підвищення життєвого й культурного рівнів населення шляхом задоволення попиту на рух автомобільними дорогами, зниження вартості товарів і послуг, підвищення рухливості населення та вивільнення часу перебування у дорозі, а також скорочення кількості ДТП за рахунок поліпшення дорожніх умов.

Загальна характеристика регіону полягає у визначенні його соціально-економічних особливостей: географічне розташування, загальна площа, населення, адміністративний поділ, природно-кліматичні, гідрологічні та гідрогеологічні умови регіону, роль і зона впливу міст-центрів (промислових, адміністративних, культурних), що обслуговують жителів областей у регіонах, які розглядаються, регіональні макропоказники розвитку економіки, тощо.

Визначення об'ємів руху та інтенсивності транспортних потоків у регіоні ґрунтується на прогнозуванні транспортних потоків у три стадії.

Перша стадія включає визначення перспективних обсягів і територіальної структури виробництва продукції та споживання ресурсів по різних галузях економіки, включаючи експорт та імпорт. Необхідним при цьому є прогноз величини населення.

На другій стадії обсяги виробництва та дані про населення трансформуються в показники транспортних потоків – об'єми руху, пункти відправлення та призначення.

На третій стадії транспортні потоки розподіляються по видах транспорту, що здійснять їх найбільш ефективним чином. Зазначені стадії взаємозалежні, тому що регіональне виробництво та транспортні потоки частково залежать від транспортних витрат.

Після того, як майбутні обсяги виробництва та споживання визначені, їх необхідно трансформувати в показники інтенсивності руху транспортних потоків. Зазвичай ця стадія виконується на основі встановлених раніше взаємозв'язків між виробництвом і споживанням, з одного боку, та потребами в транспортуванні з очікуванням на зміни, що можуть відбуватися – будується матриця транспортних кореспонденцій.

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

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

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

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

- загальна кількість загиблих;
- загальна кількість поранених;
- загальна кількість зареєстрованих в області транспортних засобів;
- загальна кількість населення, зареєстрованого по областях, у тому числі, за статтю, віком, зайнятістю, тощо;

вік і стать водіїв – учасників ДТП;

вік і стать постраждалих – учасників ДТП.

Показниками рівня аналізу служб безпеки руху Державної служби автомобільних доріг України (Укравтодор), що характеризують відносну аварійність по областях та по окремих автомобільних дорогах загального користування, є:

- розподіл загальної кількості ДТП по державних і місцевих автомобільних дорогах в області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;
- розподіл загальної кількості ДТП по державних (магістральних, національних та регіональних) і місцевих (територіальних, районних та сільських) дорогах в області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;
- порівняння аварійності на державних і місцевих автомобільних дорогах загального користування (всього ДТП і ДТП з постраждалими) в області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;
- порівняння загальної кількості ДТП і ДТП з постраждалими по державних і місцевих автомобільних дорогах загального користування в області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;
- порівняння загальної кількості ДТП і ДТП з постраждалими по державних (магістральних, національних та регіональних) і місцевих (територіальних, районних та сільських) дорогах за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

- кількість ДТП загальна, у т. ч. з постраждалими, скоєні за умов незадовільного стану доріг по області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;
- частка ДТП на автомобільних дорогах загального користування по області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;
- частка ДТП, скоєних за умов незадовільного стану автомобільних доріг загального користування по області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах
- наслідки ДТП (кількість постраждалих – загинуло, травмовано), що скоєні на автомобільних дорогах загального користування по області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;
- аварійність порівняльна (загальна кількість ДТП, кількість ДТП з постраждалими, кількість загиблих і поранених) загалом по області, у тому числі, на дорогах та за умов незадовільного їхнього стану в області.

Для визначення статистичних залежностей рівнів аварійності на автомобільних дорогах загального користування зроблений аналіз такого критерію як коефіцієнт пригод. До отриманих раніше даних проаналізовані та отримані залежності рівнів аварійності (ДТП на 1 млн. авт.-км пробігу) від інтенсивності руху для різного числа ДТП (відповідно до базової залежності для ДТП тільки з постраждалими) [94]

$$K_{\text{пр}} = \frac{10^6 \cdot z}{t \cdot 365 \cdot N \cdot L}, \quad (9.1)$$

де z – кількість ДТП на ділянці (місці) концентрації ДТП, шт.;

N – середньорічна добова інтенсивність руху за останній рік періоду спостереження за розподілом ДТП на ділянці дороги, авт./добу;

t – кількість років спостереження за розподілом ДТП (в даному випадку три роки);

L – довжина ділянки, км (не враховується для коротких ділянок протяжністю менш ніж один кілометр).

Аналогічно отримані рівні аварійності у залежності від інтенсивності руху для різної кількості ДТП (відповідно до базової залежності (9.1) для ДТП з матеріальним збитком і з потерпілими, де граничними рівнями є значення коефіцієнту пригод $K_{пр}$:

$K_{пр} = 1,45 - 1,70$ – мало небезпечні ділянки концентрації ДТП;

$K_{пр} = 1,71 - 1,96$ – небезпечні ділянки концентрації ДТП;

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

Для розрахунків показників аварійності створено відповідне програмне забезпечення, що застосовується в галузевій базі даних обліку і аналізу ДТП (RSM).

Загальна блок-схема аналізу аварійності на автомобільних дорогах України подана на рис. 9.1 [91].



Рисунок 9.1 - Блок-схема аналізу аварійності на автомобільних дорогах України

Оцінювання існуючих дорожніх умов на мережі автомобільних доріг регіону виконується наступним чином. Складовими автомобільної дороги загального користування у межах смуги відведення є такі інженерні та допоміжні споруди, а також інженерно-транспортне облаштування: земляне полотно; дорожній одяг проїзної частини; дорожній водовідвід (бокові канави, водовідвідні канави, нагірні канави, випарювальні басейни, водопропускні споруди – труби та малі мости, відкриті та закриті дренажні системи); штучні споруди (мости, шляхопроводи, естакади, віадуки, тунелі, надземні та підземні пішохідні переходи, наплавні мости та поромні переправи, розв'язки доріг, підпірні стінки, галереї, паралельні об'їзні дороги, уловлювальні з'їзди, снігозахисні споруди та насадження, протилавинні і

протисельові споруди); інженерно-транспортне облаштування (дорожні знаки, інформаційні табло, дорожня розмітка, напрямні пристрої, сигнальні стовпчики, транспортні та пішохідні огорожі різних типів, світлофорне обладнання, спеціально відведені місця для зупинки маршрутних транспортних засобів, майданчики для стоянки автомобілів, майданчики відпочинку, видові майданчики, захисні та декоративні насадження, засоби освітлення і технологічного зв'язку, вагові комплекси для контролю за ваговими параметрами транспортних засобів); дорожні комплекси і лінійні споруди для виконання поточного ремонту та утримання дороги, у тому числі, майданчики для складування дорожньо-будівельних та інших матеріалів. Для оцінки саме дорожніх умов у транспортній системі АДДМ-НМТП можна обмежитися укрупненими їх показниками: геометричні елементи дороги, тип дорожнього одягу та його стан, обстановка дороги.

Оцінювання існуючої мережі автомобільних доріг регіону полягає у визначенні щільності мережі доріг, наявності у регіоні міжнародних транспортних коридорів з подальшим розподілом та ранжируванням мережі на автомобільні дороги різних типів за значимістю та категоріями. Виявлено, що поділ автомобільних доріг за значимістю (державного значення – на міжнародні, національні та регіональні, а місцевого значення — на територіальні, обласні та районні) по суті відображає адміністративно-територіальний устрій України, ніж потребу у задоволенні вимог на безперервний, безпечний та зручний рух з боку транспортних потоків мережею автомобільних доріг. Більш важливішим є аналіз роботи доріг за категоріями. Такий поділ закладений визначально через дані по інтенсивності руху транспортних потоків. Позачерговим етапом аналізу функціонування та управління станом транспортної системи АДДМ-НМТП є виявлення автомобільних доріг, де порушена вимога щодо безперервного руху транспортних потоків за трьома умовами. Транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги має задовольняти вимогам руху транспортних потоків. Якщо транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги начебто задовольняє вимогам руху транспортних потоків, але існуюча при цьому інтенсивність руху досягає максимальних значень, це призводить до повної зупинки руху. Отже, транспортно-експлуатаційний стан дороги стає незадовільним,

вона не може ефективно функціонувати, тобто, забезпечувати рух транспортних засобів через себе.

Загальний алгоритм управління рівнями забезпечення умов безперервного руху транспортних потоків автомобільними дорогами приведений на рис.9.2 [91].

Об'єми ресурсного забезпечення розраховуються для будь-якого рівня управління забезпечення умов безперервного руху мережею автомобільних доріг регіону. У разі, коли на якомусь етапі ресурсного забезпечення не вистачає – слід звернутися з відповідним обґрунтуванням до розташованого вище рівня управління.

Відповідно до отриманих рівнів управління забезпечення умов безперервного руху пропонується планувати наступні групи заходів із поліпшення умов забезпечення безперервного дорожнього руху. По-перше, удосконалення параметрів геометричних елементів автомобільних доріг, що включають збільшення радіусів кривих у плані, поширення проїзної частини на одну смугу руху, приведення у відповідність габаритів мостів до ширини проїзної частини автомобільних доріг на підходах до мостів, тощо.

По-друге, удосконалення транспортно-експлуатаційних характеристик покриттів проїзної частини та узбіч автомобільних доріг, що включає обладнання покриттів проїзної частини шорсткою поверхневою обробкою, забезпечення необхідної рівності покриттів, укріплення узбіч та крайки проїзної частини, тощо. По-третє, удосконалення облаштування доріг шляхом устрою дорожньої розмітки, установлення дорожніх знаків та транспортних і пішохідних огорожень, обладнання перехідно-швидкісних смуг, майданчиків для стоянки автомобілів біля придорожніх споруд дорожнього сервісу, майданчиків відпочинку, автобусних зупинок і автопавільйонів, освітлення доріг, будівництва пішохідних доріжок і т. д.

Перша група заходів спрямована на забезпечення умов руху, що відповідають критичному рівню забезпечення умов безперервного руху; друга група заходів спрямована для удосконалення умов руху, що відповідають незадовільному рівню забезпечення умов безперервного руху; третя група заходів спрямована для удосконалення умов руху, що відповідають недостатньому рівню забезпечення умов безперервного руху.

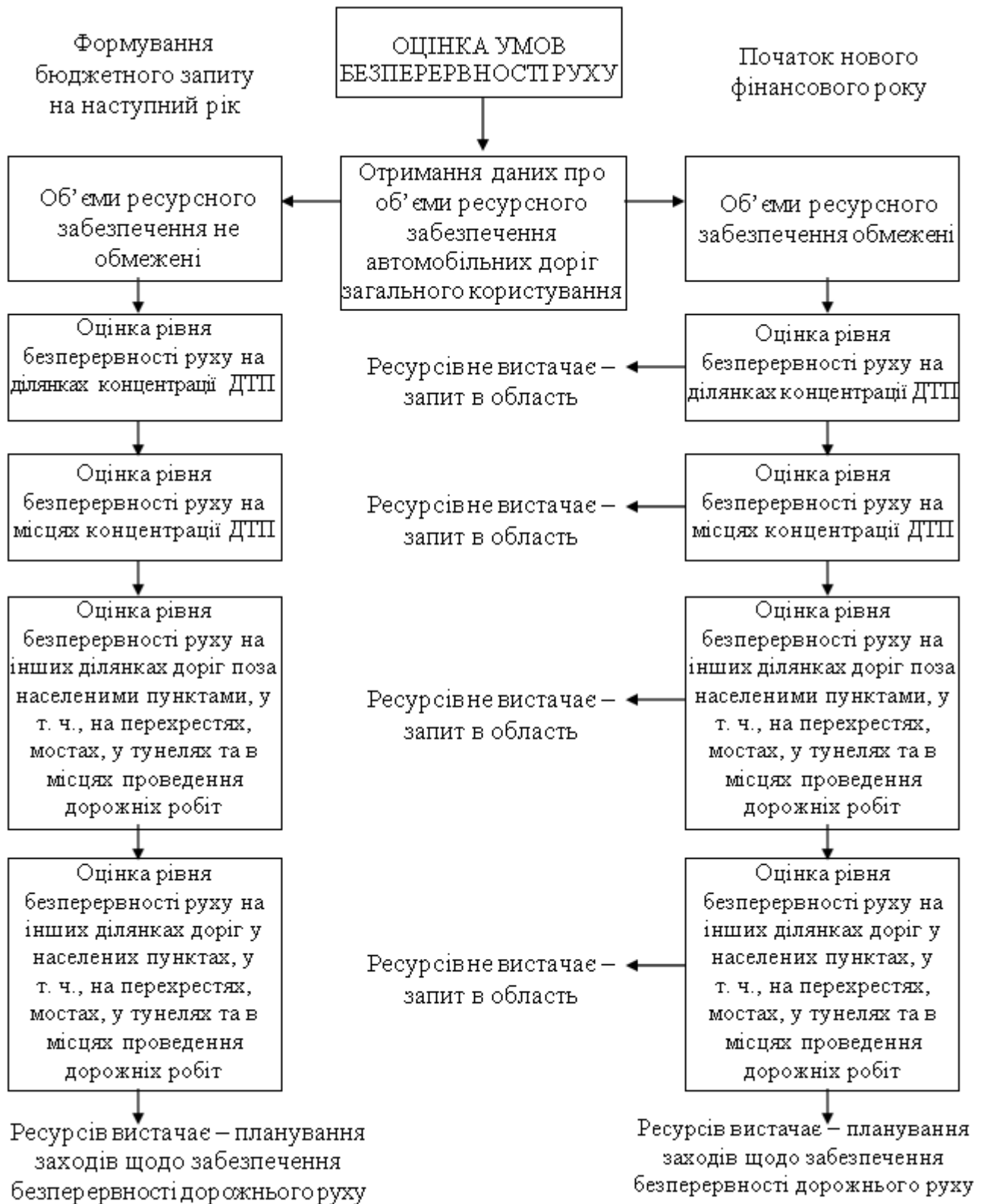


Рисунок 9.2 – Алгоритм управління безперервністю руху транспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування

Слід підкреслити, що цей поділ є умовним, він тільки приблизно відповідає потребі у заходах щодо підвищення рівня умов безперервності руху. Призначення конкретних заходів є мистецтвом і потребує найчастіше індивідуального підходу.

Далі визначаються раціональні обсяги ресурсного забезпечення відповідного рівня умов безперервності руху для ділянки автомобільної дороги, автомобільної дороги, мережі автомобільних доріг області та України з обґрунтуванням вигод від заходів щодо підвищення рівня умов безперервності дорожнього руху для суспільства. Для цього прораховуються всі перелічені показники з ранжирування місць проведення позачергових та наступних за ними по черговості виконання заходів щодо підвищення рівня умов безперервності руху. Сумарні втрати суспільства B_n від перерв у русі (p_n – приведена вартість перерви у русі) транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування для l -ї ланки (автомобільної дороги) цієї мережі складуть [92]

$$B_n = \sum_{m,l} p_n \cdot Y_{l,m}, \quad (9.2)$$

де Y_{lm} – об'єми руху на мережі автомобільних доріг загального користування.

Таким чином, при постановці задачі на визначення максимуму витрат суспільства на удосконалення умов безперервного руху автомобільними дорогами, цільова функція для дорожнього господарства буде

$$F(\gamma) = S = \sum_{i=1}^n S_i^k \cdot q_i^k \cdot \gamma^k + \sum_{i=1}^n V^l \cdot Y_i^l + \sum_{i=1}^m V^l \cdot Y_i^m \rightarrow \max, \quad (9.3)$$

а при постановці задачі на максимум задоволення потреб суспільства у виконанні вимог щодо створення умов безперервності руху на мережі автомобільних доріг, цільова функція для дорожнього господарства буде

$$F(\gamma) = S = \sum_{m,l} p_n \cdot Y_{l,m} - S \rightarrow \min. \quad (9.4)$$

Перша сума у залежності (9.3) відповідає вартості дорожніх робіт першої групи заходів з підвищення рівня умов безперервності дорожнього руху, друга сума — другій, і, нарешті, остання — третій групі заходів. Першочерговим етапом аналізу функціонування та управління станом транспортної системи регіону АДДМ-НМТП за рівнями безпеки руху.

Відповідно до отриманих рівнів безпеки руху пропонується планувати наступні три групи заходів із підвищення рівня безпеки дорожнього руху:

- удосконалення параметрів геометричних елементів автомобільних доріг, що включають збільшення радіусів кривих у плані, поширення проїзної частини на одну смугу руху, приведення у відповідність габаритів мостів до ширини проїзної частини автомобільних доріг на підходах до мостів, тощо;
- удосконалення транспортно-експлуатаційних характеристик покриттів проїзної частини та узбіч автомобільних доріг, що включає обладнання покриттів проїзної частини шорсткою поверхневою обробкою, забезпечення необхідної рівності покриттів, укріплення узбіч та крайки проїзної частини, тощо;
- удосконалення облаштування доріг шляхом устрою дорожньої розмітки, установлення дорожніх знаків та транспортних і пішохідних огорожень, обладнання перехідно-швидкісних смуг, майданчиків для стоянки автомобілів біля придорожніх споруд дорожнього сервісу, майданчиків відпочинку, автобусних зупинок і автопавільйонів, освітлення доріг, будівництва пішохідних доріжок і т. д.

Перша група заходів спрямована для удосконалення умов руху, що відповідають критичному рівню безпеки руху; друга група заходів спрямована для удосконалення умов руху, що відповідають незадовільному рівню безпеки руху; третя група заходів спрямована для удосконалення умов руху, що відповідають недостатньому рівню безпеки руху. Слід підкреслити, що цей поділ є умовним, що тільки приблизно може відповідати потребі у заходах щодо підвищення рівня безпеки руху. Призначення конкретних заходів є мистецтвом і потребує у більшості випадків індивідуального підходу [93].

Визначаються раціональні обсяги ресурсного забезпечення відповідного рівня безпеки руху для ділянки автомобільної дороги, автомобільної дороги, мережі автомобільних доріг області та України з обґрунтуванням вигоди від заходів щодо підвищення рівня безпеки руху для суспільства. Слід підкреслити, що для оцінки рівнів зручності руху мають бути виконані наступні етапи:

- визначення середньорічної добової інтенсивності руху за останній рік періоду спостереження за маршрутом (напрямком руху), авт./добу;
- визначення характеристик автомобільної дороги, що аналізується;
- характеристики дороги, яка є альтернативною щодо аналізованої;
- побудова кривої транспортного попиту на основі двохпродуктової моделі споживчої поведінки користувачів дороги;
- визначення усіх видів дорожніх витрат і побудова відповідних кривих;
- планування заходів з підвищення зручності дорожнього руху;
- дилема ціннісного регулювання: визначення транспортної цінності руху аналізованою дорогою з урахуванням прогнозованої кривої транспортного попиту;
- визначення рівнів зручності руху в залежності від характеристик транспортного потоку, дорожніх умов та ресурсного забезпечення виконання дорожніх робіт;
- оцінка ефективності функціонування транспортної системи регіону АДДМ-НМТП за рівнями зручності руху з прийняттям рішення щодо можливості або неможливості впровадження конкретних заходів з підвищення зручності руху з урахуванням їх ресурсного забезпечення.

Об'єми ресурсного забезпечення розраховуються для будь-якого рівня управління зручністю руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування регіону [93].

Відповідно до отриманих рівнів зручності руху пропонується планувати такі три групи заходів із підвищення рівня зручності руху транспортних потоків:

- 1) Удосконалення параметрів геометричних елементів автомобільних доріг, що включають збільшення радіусів кривих у плані, поширення проїзної частини на одну

смугу руху, приведення у відповідність габаритів мостів до ширини проїзної частини автомобільних доріг на підходах до мостів, тощо;

2) Удосконалення транспортно-експлуатаційних характеристик покриттів проїзної частини та узбіч автомобільних доріг, що включає обладнання покриттів проїзної частини шорсткою поверхневою обробкою, забезпечення необхідної рівності покриттів, укріплення узбіч та крайки проїзної частини, тощо;

3) удосконалення облаштування доріг шляхом устрою дорожньої розмітки, установлення дорожніх знаків та транспортних і пішохідних огорожень, обладнання перехідно-швидкісних смуг, майданчиків для стоянки автомобілів біля придорожніх споруд дорожнього сервісу, майданчиків відпочинку, автобусних зупинок і автопавільйонів, освітлення доріг, будівництва пішохідних доріжок і т. д.

Перша група заходів спрямована для удосконалення умов руху, що відповідають критичному рівню зручності руху; друга група заходів спрямована для удосконалення умов руху, що відповідають незадовільному рівню зручності руху; третя група заходів спрямована для удосконалення умов руху, що відповідають недостатньому рівню зручності руху. Слід підкреслити, що цей поділ умовним, що тільки приблизно може відповідати потребі у заходах щодо підвищення рівня зручності руху транспортних потоків. Призначення конкретних заходів є мистецтвом і потребує у більшості випадків індивідуального підходу.

10 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ НА РОЗПОДІЛ ШВИДКОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ В ВІЛЬНИХ УМОВАХ

10.1 Постановка проблеми та актуальність дослідження

Швидкість руху транспортних засобів є одним із ключових параметрів функціонування вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста. Вона одночасно характеризує транспортну ефективність вулиці, рівень зручності пересування, пропускну здатність, умови взаємодії транспортних потоків і потенційний рівень небезпеки дорожнього руху. Особливе значення має дослідження швидкостей у міських умовах, де рух автомобілів відбувається в межах складної системи взаємодії транспортних засобів, пішоходів, велосипедистів, громадського транспорту, припаркованих автомобілів, світлофорного регулювання, дорожніх знаків, розмітки та геометричних параметрів вулиць. Актуальність такого дослідження посилюється тим, що швидкісний режим безпосередньо пов'язаний із безпекою дорожнього руху. Зі збільшенням швидкості зростає як імовірність виникнення ДТП, так і тяжкість її наслідків [96, 97].

У транспортних дослідженнях швидкість руху може розглядатися в різних аспектах: як миттєва швидкість транспортного засобу, середня швидкість проходження ділянки, просторова або часова середня швидкість транспортного потоку, експлуатаційна швидкість, розрахункова швидкість або швидкість вільного руху. В контексті дослідження впливу особливостей транспортного планування територій та дорожніх умов, найбільше значення має саме швидкість вільного руху.

Під швидкістю вільного руху, або вільною швидкістю, доцільно розуміти швидкість, яку обирає водій за умов мінімального впливу інших транспортних засобів. У таких умовах водій має можливість самостійно обирати швидкість відповідно до власного сприйняття дорожньої обстановки. Отже, швидкість вільного руху більшою мірою відображає вплив дорожніх умов, організації руху, геометрії вулиці, нормативного обмеження швидкості та поведінкових характеристик водія

[98]. Таким чином, на відміну від середньої швидкості транспортного потоку, швидкість вільного руху дозволяє оцінити не стільки рівень завантаження ВДМ, скільки потенційний швидкісний режим, який формується самою дорожньою інфраструктурою. Це принципово важливо для ділянок ВДМ міст, оскільки фактичний дизайн вулиці може стимулювати або, навпаки, обмежувати швидкість руху. Наприклад, широка проїзна частина, значна відстань між перехрестями, відсутність візуальних звужень і мала кількість бокових перешкод можуть сприяти вищим швидкостям навіть за наявності встановленого обмеження. Натомість вузькі смуги руху, активне пішохідне середовище, острівці безпеки, підвищені переходи або інші засоби заспокоєння руху можуть зменшувати швидкість на рівні поведінкової реакції водія.

У межах даної роботи особливий інтерес становить порівняння швидкостей вільного руху на двох типах міських вулиць: магістральних вулицях та вулицях місцевого значення. Такий підхід є доцільним, оскільки ці типи вулиць мають різне функціональне призначення в структурі ВДМ. Магістральні вулиці забезпечують основні транспортні зв'язки між районами міста, обслуговують значні транспортні потоки та, як правило, мають вищі геометричні параметри. Вулиці місцевого значення переважно забезпечують під'їзд до житлової забудови, громадських об'єктів, внутрішньорайонних територій і мають більш виражену функцію обслуговування прилеглої території.

Водночас фактичний швидкісний режим не завжди відповідає функціональному призначенню вулиці. У міських умовах можуть виникати ситуації, коли вулиці місцевого значення використовуються для транзитного руху, а їхні геометричні параметри сприяють розвитку швидкостей, не характерних для житлового чи локального середовища. З іншого боку, на магістральних вулицях наявність пішохідних переходів, зупинок, паркування або частих примикань може призводити до зниження швидкостей і збільшення їхньої неоднорідності. У цьому контексті швидкість вільного руху може розглядатися як індикатор відповідності організації дорожнього руху функціональному призначенню вулиці. Якщо на вулиці місцевого значення значна частина автомобілів рухається зі швидкістю, близькою до

швидкостей на магістральних вулицях, це може свідчити про недостатню диференціацію вуличного простору, наявність транзитної функції або відсутність ефективних засобів обмеження швидкості. Якщо ж на магістральній вулиці швидкості вільного руху мають значну дисперсію, це може вказувати на неоднорідність умов руху, конфлікт між транспортною та обслуговуючою функціями, а також на недостатню узгодженість елементів ОДР.

У зв'язку з цим виникає науково-практична проблема: необхідно встановити, як саме особливості ОДР та функціональна категорія міської вулиці впливають на розподіл швидкостей легкових автомобілів у вільних умовах руху. Вирішення цієї проблеми має значення не лише для оцінки фактичного швидкісного режиму, а й для обґрунтування заходів з підвищення безпеки дорожнього руху, удосконалення схем ОДР, вибору раціональних обмежень швидкості та впровадження інженерних засобів впливу на поведінку водіїв.

10.2 Аналіз публікацій щодо впливу функціонального типу вулиць і дорожніх умов на швидкість вільного руху

У багатьох дослідженнях швидкісний режим ТЗ дедалі частіше розглядається не лише як наслідок встановленого обмеження швидкості, а як результат комплексного впливу функціонального призначення дороги, геометричних параметрів, характеристик прилеглого середовища та особливостей ОДР. Для даної роботи особливе значення мають дослідження, у яких швидкість вільного руху або експлуатаційна швидкість аналізується з урахуванням типу вулиці, її ролі у транспортній мережі та фактичних умов руху. Дані про розподіл вільної швидкості використовуються для широкого кола транспортних задач - від проектування доріг до розроблення моделей транспортного потоку.

Дослідження [99] присвячене розподілам швидкостей вільного руху (free-flow speed) на типових ділянках міської ВДМ міста Харкова. Експериментальні дані були отримані шляхом польових спостережень із використанням портативного радара, а об'єктом аналізу стали чотири ділянки вулиць з різним функціональним

призначенням і різною організацією руху. Результати цього дослідження показують, що характеристики розподілів швидкостей вільного руху відрізняються залежно від функціонального класу вулиць. Зокрема, середні значення швидкостей вільного руху на магістральних вулицях виявилися в середньому на 19 км/год вищими, ніж на вулицях іншого функціонального призначення. Водночас автори підкреслюють, що вплив одностороннього руху на розподіл швидкостей є менш однозначним, особливо для магістральних вулиць. Це свідчить про те, що функціональний тип вулиці може мати сильніший вплив на швидкісний режим, ніж окремі елементи схеми ОДР.

В роботі [100] авторами проаналізовано вплив характеристик міських доріг на 85-й процентиль швидкості ТЗ. Автори зазначають, що V85 є одним із ключових показників для управління дорожньою інфраструктурою, однак фактичні вимірювання швидкостей доступні не для кожної ділянки міської мережі. Тому важливого значення набувають моделі, які дозволяють встановити зв'язок між характеристиками дороги та фактичним швидкісним режимом. У дослідженні використано дані міської дорожньої мережі м. Брешія в Італії, включаючи понад 48 тис. спостережень швидкості. Автори застосували кілька варіантів множинної регресії для оцінки впливу різних характеристик дороги на V85. В роботі підкреслюється недостатність простого врахування лише встановленого обмеження швидкості, оскільки фактичний швидкісний режим формується також під впливом параметрів проїзної частини, дорожньої розмітки, прилеглого середовища та наявності засобів заспокоєння руху.

В роботі [101] представлено визначення швидкості вільного руху для різних класів двосмугових доріг. Хоча ця публікація присвячена переважно сільським автомобільним дорогам, її висновки мають значення для загального розуміння впливу функціональної класифікації дороги на швидкість вільного руху. Автори підкреслюють, що застосування єдиної моделі для різних класів доріг може призводити до спрощення реальних умов руху, оскільки дороги різного функціонального значення мають різні умови вибору швидкості водіями. Автори встановили різні порогові значення часових інтервалів для відбору транспортних засобів, що рухаються у вільних умовах, для доріг різних класів. Це має важливе

методичне значення, оскільки показує, що визначення «вільного руху» може залежати від типу дороги, її функції та умов руху.

Узагальнення наведених публікацій дозволяє зробити декілька важливих висновків для даного дослідження. По-перше, функціональний тип вулиці або дороги є суттєвим фактором, який може впливати на рівень і форму розподілу швидкостей вільного руху. По-друге, для міських умов недостатньо аналізувати лише середню швидкість; необхідно враховувати розсіювання швидкостей, процентильні характеристики та форму розподілу. По-третє, фактичний швидкісний режим формується не одним фактором, а сукупністю геометричних, організаційних і середовищних умов. Отже, порівняння магістральних вулиць і вулиць місцевого значення у м. Харкові є науково обґрунтованим напрямом дослідження, який відповідає сучасним підходам до аналізу швидкісної поведінки водіїв у міському середовищі.

10.3 Теоретичні передумови впливу функціонального типу вулиці та особливостей ОДР на вільну швидкість

Функціональна класифікація міських вулиць є основою для визначення їхнього призначення, розрахункових параметрів, складу учасників руху та допустимого рівня транспортного навантаження. В українській нормативній базі вимоги до проектування вулиць і доріг населених пунктів визначаються ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів». Ці норми застосовуються для проектування та будівництва вулиць і доріг у населених пунктах, а їхня чинна редакція враховує зміну № 1 [102].

Магістральні вулиці, як правило, виконують функцію забезпечення транспортних зв'язків між планувальними районами міста, основними житловими масивами, промисловими зонами, центрами трудового тяжіння та зовнішніми автомобільними дорогами. Для них характерні більша інтенсивність руху, більша пропускна здатність, значна частка наскрізних поїздок і вища роль у загальній структурі міської мобільності. Такі вулиці часто мають більшу ширину проїзної

частини, декілька смуг руху в одному напрямку, координоване світлофорне регулювання та більш виражене розділення транспортних і пішохідних потоків. Вулиці місцевого значення виконують забезпечують транспортне обслуговування прилеглої забудови, під'їзд до житлових будинків, закладів обслуговування, внутрішньоквартальних територій, невеликих громадських об'єктів. Для таких вулиць характерною є більша взаємодія автомобільного руху з пішохідним середовищем, наявність паркування, в'їздів і виїздів з дворів, локальних примикань, обмеженої оглядовості та меншої відстані між потенційними конфліктними точками.

З погляду вибору швидкості водієм, магістральні та місцеві вулиці формують різні умови сприйняття дорожнього простору. На магістральній вулиці водій частіше сприймає дорожню ситуацію як таку, що допускає стабільний рух із вищою швидкістю. На місцевій вулиці водій повинен очікувати більшої кількості локальних перешкод і непередбачуваних маневрів. Однак, фактична поведінка водіїв залежить не лише від формальної категорії вулиці, а й від того, наскільки її геометричні параметри та засоби ОДР відповідають цій категорії. Саме тому дослідження швидкостей вільного руху на різних типах вулиць дозволяє перевірити, чи відображається функціональна класифікація ВДМ у фактичній поведінці водіїв. Якщо статистичні характеристики швидкостей на магістральних і місцевих вулицях суттєво відрізняються, це підтверджує вплив функціонально-планувальних умов на вибір швидкості. Якщо ж такі відмінності незначні, це може свідчити про слабкий вплив існуючої ОДР на швидкісний режим або про те, що окремі місцеві вулиці фактично виконують невласливу їм транзитну функцію.

Відомо, що розподіл швидкостей ТЗ на міській вулиці формується під впливом комплексу факторів. Їх доцільно поділяти на геометричні, організаційні, середовищні та поведінкові, як це показано на схемі рис. 10.1.

Геометрія вулиці формує базове просторове сприйняття водія. Широкі смуги, велика відкрита перспектива та відсутність «бокового тертя» можуть створювати відчуття допустимості вищої швидкості. Натомість візуальне або фізичне звуження простору, близькість бордюру чи пішохідної зони сприяють зниженню швидкості.

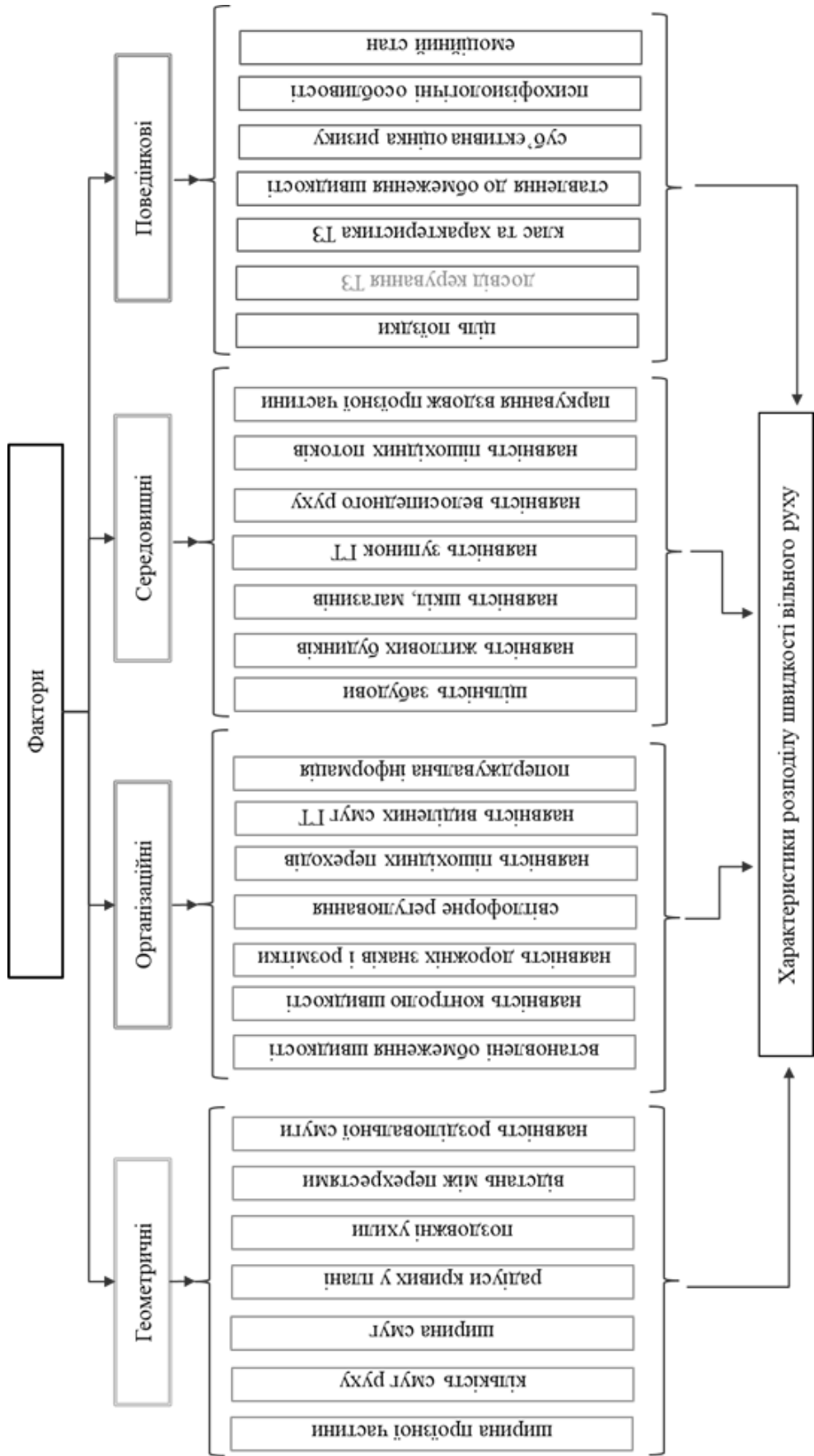


Рисунок 10.1 – Схема розподілу факторів, що впливають на швидкість вільного руху

Організаційні фактори можуть як безпосередньо обмежувати швидкість, так і опосередковано впливати на рішення водія через зміну очікуваного рівня небезпеки.

Середовищні фактори пов'язані з характером забудови та активністю прилеглої території. У міських умовах саме середовище часто визначає, чи сприймає водій ділянку як транспортний коридор або як простір спільного використання з іншими учасниками руху.

Поведінкові фактори включають індивідуальні особливості водія. Одні водії обирають консервативний режим руху, інші - рухаються ближче до максимально допустимої або фактично можливої швидкості. Через це навіть на одній і тій самій ділянці формується не одне значення швидкості, а певний статистичний розподіл

З практичної точки зору особливий інтерес становить не лише середнє значення швидкості, а й форма розподілу. Висока варіація швидкостей може свідчити про неоднозначність дорожніх умов, різне сприйняття ділянки водіями або конфлікт між геометрією вулиці та її функціональним призначенням. Наявність значної частки високих швидкостей на місцевих вулицях може бути ознакою підвищеного ризику для пішоходів і мешканців прилеглої території. Для магістральних вулиць важливим є не лише забезпечення достатньої швидкості сполучення, а й стабільність швидкісного режиму, оскільки різкі відмінності у швидкостях транспортних засобів можуть погіршувати умови маневрування та підвищувати ризик конфліктів.

Таким чином, для аналізу швидкостей вільного руху доцільно використовувати систему статистичних показників, які дають змогу оцінити як центральну тенденцію, так і розсіювання значень. До основних показників належать середня швидкість, медіана, мода, мінімальне та максимальне значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, а також процентильні характеристики. Середня швидкість характеризує узагальнений рівень швидкісного режиму на ділянці. Вона є зручною для порівняння різних ділянок, однак не відображає внутрішньої структури розподілу. Тому її необхідно розглядати разом із медіаною, яка показує значення швидкості, нижче та вище якого знаходиться по 50 % спостережень. Якщо середня швидкість суттєво відрізняється від медіани, це може свідчити про асиметричний розподіл або наявність групи транспортних засобів з дуже високими чи дуже

низькими швидкостями. Стандартне відхилення характеризує розсіювання швидкостей відносно середнього значення. Чим більше стандартне відхилення, тим менш однорідним є швидкісний режим на ділянці. Для порівняння ділянок із різними середніми швидкостями доцільно використовувати коефіцієнт варіації, який показує відносну мінливість швидкостей. Це особливо корисно при порівнянні магістральних і місцевих вулиць, де середні швидкості можуть суттєво відрізнятися.

Важливим показником у транспортній інженерії є 85-й перцентиль швидкості. Він показує швидкість, яку не перевищують 85 % водіїв у вибірці. Цей показник часто використовується для оцінки фактичного режиму руху та визначення характерної швидкості, яку більшість водіїв вважає прийнятною для конкретних дорожніх умов. У межах даного дослідження 85-й перцентиль доцільно використовувати для порівняння фактичного швидкісного режиму на магістральних і місцевих вулицях.

Порівняння розподілів швидкостей на магістральних вулицях і вулицях місцевого значення дає змогу оцінити, наскільки функціональна структура ВДМ відповідає фактичному режиму руху. У теоретичному плані можна очікувати, що на магістральних вулицях середні швидкості та 85-й перцентиль будуть вищими, ніж на місцевих вулицях. Для вулиць місцевого значення очікуваним є нижчий рівень швидкостей і більша залежність від локальних умов. Однак саме на таких вулицях можливі суттєві відхилення від бажаного режиму, якщо їхні геометричні параметри або організація руху не обмежують швидкість водіїв. У цьому випадку фактична швидкість вільного руху може бути невиправдано високою відносно функції вулиці, що створює додаткові ризики для пішоходів, мешканців прилеглої забудови та інших вразливих учасників дорожнього руху.

Таким чином, аналіз швидкостей вільного руху не повинен обмежуватися фіксацією окремих значень швидкості. Його доцільно розглядати як інструмент оцінки якості ОДР та відповідності вуличного простору його функціональному призначенню. Для магістральних вулиць важливо забезпечити поєднання транспортної ефективності та контрольованого, передбачуваного швидкісного режиму. Для вулиць місцевого значення пріоритетом має бути обмеження швидкості до рівня, сумісного з житловим, пішохідним і громадським середовищем.

Отже, теоретичною передумовою даного дослідження є положення про те, що швидкість вільного руху легкових автомобілів формується під впливом функціонального типу вулиці, її геометричних параметрів, засобів організації дорожнього руху та характеру прилеглого міського середовища. Вивчення розподілів швидкостей на магістральних і місцевих вулицях дозволяє встановити фактичні відмінності між цими типами елементів ВДМ, оцінити рівень однорідності швидкісного режиму та визначити потенційні напрями удосконалення організації дорожнього руху.

10.4 Описання методики експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження були спрямовані на отримання фактичних даних про швидкість вільного руху легкових автомобілів на ВДМ м. Харкова. Основною метою експерименту було встановлення відмінностей у швидкісному режимі на вулицях різного функціонального призначення.

Об'єктом вимірювань були легкові автомобілі, що рухалися у вільних умовах на вибраних ділянках ВДМ. Вантажні автомобілі, автобуси, мотоцикли та інші транспортні засоби до вибірки не включалися, оскільки вони мають інші динамічні характеристики, інші умови маневрування та можуть формувати відмінний швидкісний режим. Такий підхід забезпечує більшу однорідність вибірки та підвищує коректність подальшого статистичного порівняння.

Для проведення експериментальних досліджень було обрано 10 ділянок ВДМ м. Харкова. Із них 5 ділянок належать до магістральних вулиць, а 5 - до вулиць місцевого значення. В місці вимірювання ділянки вулиць на мали кривих в плані та повздовжніх ухилів. Узагальнені інформація про дорожні умови на ділянках вимірювання наведена в табл.10.1.

Ділянки магістральних вулиць характеризуються більш високою пропускнуою спроможністю проїзної частини. На просп. Героїв Харкова мається розділювальна смуга, тому рух односторонній за трьома смугами, при цьому пішохідний рух у зоні вимірювання відсутній. Інші магістральні ділянки мають чотири смуги руху,

пішохідний рух у безпосередній зоні вимірювання також відсутній. Такі умови створюють відносно сприятливий простір для розвитку вищих швидкостей, оскільки водії мають достатню ширину проїзної частини, кращу оглядовість та меншу кількість локальних перешкод.

Таблиця 10.1 – Характеристика експериментальних ділянок ВДМ

Тип вулиці	Умове позначення	Назва вулиці	Дорожні умови
Магістральні	M1	просп. Героїв Харкова	3 смуги (одnobічний рух), пішохідний рух відсутній
	M2	просп. Тракторобудівників	4 смуги, пішохідний рух відсутній
	M3	вул. Харківське шосе	4 смуги, пішохідний рух відсутній
	M4	вул. Дерев'янка	4 смуги, пішохідний рух відсутній
	M5	вул. Салтівське шосе	4 смуги, пішохідний рух відсутній
Місцевого значення	L1	вул. Краснодарська	2 смуги, приватний сектор
	L2	вул. 12-го Квітня	2 смуги, наявність тротуару
	L3	вул. Миру	2 смуги, наявність тротуарів
	L4	вул. Балакірева	2 смуги, наявність тротуару
	L5	вул. Новгородська	2 смуги, відсутність тротуару

Обрані ділянки місцевих вулиць мають по дві смуги руху, хоча умови дорожнього середовища на них дещо відрізняються. Вул. Краснодарська проходить у зоні приватного сектору. На вул. 12-го Квітня та вул. Балакірева наявний тротуар, на вул. Миру - тротуари з обох боків, тоді як на вул. Новгородська тротуар у місці дослідження відсутній. Таким чином, місцеві вулиці відрізняються від магістральних не лише меншою кількістю смуг, а й більш тісним зв'язком із прилеглою забудовою та потенційно більшою роллю пішохідного середовища.

Загальна методика експериментального дослідження включала такі основні етапи:

1) Вибір ділянок ВДМ м. Харкова. Ділянки представляли два функціональні типи вулиць: магістральні та місцевого значення. Для кожної ділянки було зафіксовано основні характеристики ОДР та умов руху, зокрема кількість смуг, особливості пішохідного руху, наявність тротуарів і характер прилеглої території.

2) Проведення вимірювання швидкості руху легкових автомобілів. До вибірки включалися тільки ті автомобілі, які рухалися у вільних умовах і не мали очевидного обмеження швидкості з боку інших ТЗ або короткочасних дорожніх ситуацій.

3) Формування масиву експериментальних даних. Для кожної з 10 ділянок отримано по 40 значень швидкості, що забезпечило однаковий обсяг вибірок і можливість коректного порівняння між ділянками та групами вулиць.

4) Статистична обробка даних. Для кожної вибірки розраховувалися основні описові статистики, будувалися гістограми відносних частот, box-plot діаграми та графіки накопичених частот. Додатково виконувалася перевірка розподілів швидкостей на нормальність.

5) Порівняльний аналіз результатів для магістральних вулиць і вулиць місцевого значення. Основна увага при цьому приділялася встановленню відмінностей у середніх швидкостях, медіанах, варіації швидкостей, процентільних характеристиках і формі розподілів.

Вимірювання швидкості проводилися з використанням портативного радару Bushnell Velocity Speed Gun 101911. Це дозволяло виконувати оперативну реєстрацію миттєвої швидкості ТЗ без втручання в транспортний потік і без необхідності встановлення стаціонарного обладнання на проїзній частині. Під час вимірювань радар розташовувався таким чином, щоб забезпечити чітке наведення на транспортний засіб і мінімізувати похибки, пов'язані з кутом вимірювання. Фіксація швидкості виконувалася для окремих легкових автомобілів, які рухалися у складі потоку, але мали достатній просторовий інтервал до транспортного засобу попереду. За наявності щільного потоку, руху в колоні або очевидного гальмування через зовнішні перешкоди транспортний засіб до вибірки не включався. Також до вибірки не включалися ТЗ, що рухалися у щільній групі, виконували гальмування, прискорення після зупинки, маневр перестроювання або повороту, а також автомобілі, швидкість яких могла бути обмежена пішоходами, транспортом загального користування, паркуванням, перешкодами на проїзній частині чи іншими локальними факторами. Такий відбір дозволяє зменшити випадковий вплив короткочасних дорожніх ситуацій на результати дослідження.

Результатом кожного окремого спостереження було значення швидкості руху легкового автомобіля у кілометрах на годину. Для кожної з 10 ділянок було сформовано окрему вибірку експериментальних значень. Це дозволило надалі порівнювати не лише окремі значення швидкостей, а й повні статистичні розподіли для різних типів вулиць. Для кожної досліджуваної ділянки було сформовано вибірку з 40 значень швидкості. Тобто, загальний обсяг експериментальних даних становив 400 вимірювань, з яких 200 спостережень припадають на магістральні вулиці та 200 - на вулиці місцевого значення.

Статистична обробка результатів вимірювань виконувалася окремо для кожної ділянки ВДМ з використанням програмного забезпечення Excel (Microsoft Corporation, США) та STATISTICA (StatSoft Inc., США). На першому етапі для кожної вибірки були визначені основні описові статистики: кількість спостережень, середнє значення швидкості, медіана, мінімальне та максимальне значення, дисперсія, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, стандартна похибка середнього значення, асиметрія та ексцес. Середнє значення швидкості використовувалося як основний узагальнений показник рівня швидкісного режиму на ділянці. Медіана дозволяла оцінити центральне положення вибірки з меншим впливом поодиноких високих або низьких значень. Мінімальні та максимальні значення характеризували межі зафіксованих швидкостей, а стандартне відхилення та коефіцієнт варіації - ступінь неоднорідності швидкісного режиму.

Окрему увагу було приділено формі розподілів швидкостей. Для цього використовувалися гістограми відносних частот, які дозволяють візуально оцінити переважні діапазони швидкостей, наявність асиметрії, зміщення розподілу в бік вищих або нижчих значень, а також можливі поодинокі екстремальні спостереження. Для додаткового аналізу розподілів були використані box-plot діаграми, які дозволяють порівнювати медіанні значення, міжквартильний розмах, межі неекстремальних значень, викиди та екстремальні спостереження для всіх досліджуваних ділянок. Також було побудовано графіки накопичувальних частот, що дало змогу провести аналізу процентільних характеристик, зокрема 85-го процентіля швидкості.

Для оцінки відповідності розподілів швидкостей нормальному закону було використано графічні та статистичні методи перевірки. Зокрема, аналізувалися normal probability plots, а також результати критеріїв Колмогорова – Смирнова та Шапіро – Уїлка.

10.5 Аналіз результатів експериментальних досліджень

За результатами експериментальних досліджень було сформовано масив даних швидкостей вільного руху легкових автомобілів на 10 ділянках ВДМ м. Харкова. До складу вибірки увійшли 5 ділянок магістральних вулиць та 5 ділянок вулиць місцевого значення. Для кожної ділянки було отримано по 40 значень швидкості, що забезпечило однаковий обсяг вибірок і можливість коректного порівняння результатів.

Вікно з основними описовими статистичними характеристиками для всіх вибірок наведені на рис. 10.2.

Variable	Descriptive Statistics (Data speed Kharkiv)								
	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Variance	Std.Dev.	Coef.Var.	Standard Error
M1: Ger.Kharkova	40	71,27500	69,50000	54,00000	99,0000	92,7173	9,62898	13,50962	1,522476
M2: Traktorobud	40	70,20000	71,00000	50,00000	94,0000	107,9590	10,39033	14,80104	1,642856
M3: Khar.Shose	40	80,47500	78,50000	59,00000	137,0000	195,3327	13,97615	17,36707	2,209823
M4: Dedevianko	40	82,05000	81,00000	60,00000	111,0000	127,2282	11,27955	13,74716	1,783453
M5: Salt.Shose	40	73,07500	74,00000	43,00000	89,0000	86,4814	9,29954	12,72602	1,470386
L1: Krasnodar	40	62,27500	62,00000	42,00000	90,0000	84,0506	9,16791	14,72166	1,449574
L2: 12Kvitnya	40	69,40000	67,50000	45,00000	95,0000	99,1179	9,95580	14,34553	1,574150
L3: Miru	40	54,97500	54,50000	45,00000	67,0000	36,0250	6,00208	10,91784	0,949013
L4 ^A : Balakirev	40	60,82500	60,50000	43,00000	74,0000	54,3532	7,37246	12,12078	1,165689
L4: Novgor	40	62,22500	61,50000	49,00000	76,0000	49,4096	7,02920	11,29642	1,111414

Рисунок 10.2 – Описова статистика вибірок даних

Можна помітити різницю між статистичними характеристиками вибірок. Основні статистичні характеристики швидкостей вільного руху на магістральних вулицях наведено в табл. 10.1.

Таблиця 10.1 - Основні характеристики розподілів швидкості вільного руху на ділянках магістральних вулиць

Ділянка	Середня швидкість V_m , км/год	Медіана V_{med} , км/год	85 % процентіль V_{85} , км/год	Стандартне відхилення D_s , км/год	Коефіцієнт варіації C_{var} , %
М1	71,3	69,5	78,3	9,5	13,51
М2	70,2	71	81	10,3	14,80
М3	80,5	78,5	92,5	13,8	17,37
М4	82,1	81	89,8	11,1	13,75
М5	73,1	74	83	9,2	12,73

Серед магістральних вулиць найвищі середні швидкості зафіксовано на ділянці М4 (вул. Дерев'янка) та М3 (Харківське шосе). Це свідчить про те, що умови руху на цих ділянках найбільшою мірою сприяють розвитку високих швидкостей. Обидві ділянки мають чотири смуги руху, пішохідний рух у зоні вимірювання відсутній, а дорожнє середовище створює для водія враження відкритого транспортного коридору. Найнижчі середні швидкості серед магістральних вулиць отримано на М2 (просп. Тракторобудівників) та М1 (просп. Героїв Харкова). Однак навіть ці значення є достатньо високими для міських умов і суттєво перевищують встановлене на ВДМ міста обмеження швидкості 50 км/год.

Найбільший діапазон розкидання швидкостей спостерігається на ділянці М3 (вул. Харківське шосе), що підтверджується найвищим стандартним відхиленням і найбільшим коефіцієнтом варіації. Така ситуація свідчить про значну неоднорідність швидкісного режиму на цій ділянці.

Загалом для магістральних вулиць характерне розташування основної частини спостережень у діапазоні приблизно 65...90 км/год. При цьому на окремих ділянках спостерігаються поодинокі значення, що суттєво перевищують основний діапазон. Це особливо характерно для вул. Харківське шосе та вул. Дерев'янка.

Основні статистичні характеристики швидкостей вільного руху на вулицях місцевого значення наведено в табл. 10.2.

Таблиця 10.2 - Основні характеристики розподілів швидкості вільного руху на ділянках вулиць місцевого значення

Ділянка	Середня швидкість, км/год	Медіана, км/год	85 % процентиль, км/год	Стандартне відхилення, км/год	Коефіцієнт варіації, %
L1	62,3	62,0	71,3	9,1	9,17
L2	69,4	67,5	79,3	9,8	9,96
L3	55,0	54,5	61,0	5,9	6,0
L4	60,8	60,5	69,2	7,3	7,37
L5	62,2	61,5	70,0	6,9	7,03

Серед вулиць місцевого значення найвищу середню швидкість зафіксовано на ділянці вул. L2 (вул. 12-го Квітня). Це значення наближається до показників окремих магістральних вулиць, зокрема просп. Тракторобудівників і просп. Героїв Харкова. Такий результат може свідчити про те, що фактичні умови руху на цій ділянці місцевої вулиці створюють передумови для розвитку швидкостей, які не повністю відповідають її локальному функціональному призначенню. Найнижчу середню швидкість отримано на ділянці L3 (вул. Миру). Ця ділянка також характеризується найнижчим стандартним відхиленням і найнижчим коефіцієнтом варіації. Отже, швидкісний режим є не лише нижчим, а й більш однорідним. Це може бути пов'язано з наявністю тротуарів і більш вираженим впливом міського середовища на поведінку водіїв.

Загалом на вулицях місцевого значення основна частина швидкостей зосереджена в діапазоні приблизно 50...70 км/год. Проте окремі ділянки мають значення, які наближаються до магістрального рівня. Це вказує на неоднорідність умов руху на ділянках місцевих вулиць.

Для узагальненого порівняння двох груп вулиць було визначено середні значення основних статистичних показників у межах кожної групи. Результати наведено в таблиці 10.3.

Таблиця 3.3 - Узагальнені характеристики швидкостей за типами вулиць

Тип вулиці	Кількість ділянок	Загальна кількість спостережень	Середня швидкість V_m , км/год	85 % процентіль V_{85} , км/год	Коефіцієнт варіації C_{var} , %
Магістральні	5	200	75,42	84,90	14,43
Місцеві	5	200	61,94	70,15	12,68

Порівняння показує, що середня швидкість вільного руху на магістральних вулицях становить $V_m = 75,42$ км/год, тоді як на вулицях місцевого значення $V_m = 61,94$ км/год. Різниця між групами дорівнює 13,48 км/год. Це підтверджує наявність істотного впливу функціонального типу вулиці на вибір швидкості водіями легкових автомобілів.

Ще більш виразною є різниця за 85-м процентілем швидкості. Для магістральних вулиць $V_{85} = 84,90$ км/год, а для вулиць місцевого значення $V_{85} = 70,15$ км/год. Різниця становить 14,75 км/год. Це означає, що не лише середній рівень швидкостей, а й швидкість, яку не перевищує більшість водіїв, на магістральних вулицях є суттєво вищою.

За коефіцієнтом варіації різниця між групами є менш виразною. Для магістральних вулиць середній коефіцієнт варіації становить $C_{var} = 14,43$ %, для місцевих $C_{var} = 12,68$ %. Це свідчить про дещо більшу неоднорідність швидкісного режиму на магістральних ділянках. Такий результат може бути пов'язаний з тим, що на магістральних вулицях водії мають більше можливостей для вибору індивідуального режиму руху, зокрема через більшу кількість смуг, кращу видимість і меншу кількість локальних обмежень.

Водночас аналіз окремих ділянок показує, що між групами існує певне перекриття швидкісних діапазонів. Наприклад, середня швидкість на вул. 12-го Квітня, яка належить до місцевих вулиць, становить 69,40 км/год і майже відповідає показникам просп. Тракторобудівників та просп. Героїв Харкова. Це свідчить про те, що функціональний тип вулиці є важливим, але не єдиним фактором впливу. Конкретні геометричні умови, ширина проїзної частини, характер забудови, візуальне сприйняття вулиці можуть суттєво змінювати швидкісний режим навіть у межах однієї функціональної групи.

10.6 Аналіз форми розподілів швидкостей вільного руху

На рис. 10.2 наведені гістограми розподілу швидкості вільного руху для ділянок магістральних вулиць. Аналогічні розподіли для вулиць місцевого значення представлені на рис. 10.3.

Гістограми показують, що для більшості досліджуваних ділянок характерний одновіршинний розподіл, у якому основна частина значень концентрується навколо середнього або медіанного рівня. Однак форма розподілів відрізняється залежно від ділянки. На магістральних вулицях розподіли переважно зміщені у бік вищих швидкостей. Для вул. Харківське шосе характерна правостороння асиметрія, що пояснюється наявністю високих значень швидкості, зокрема максимального значення 137 км/год. На просп. Героїв Харкова також спостерігається позитивна асиметрія, що вказує на наявність групи водіїв, які рухалися зі швидкостями, вищими за основний діапазон.

На вулицях місцевого значення розподіли мають більш компактний характер. Найбільш однорідним є розподіл на вул. Миру, де спостерігається невелике стандартне відхилення та відносно вузький діапазон швидкостей - від 45 до 67 км/год. Це свідчить про те, що дорожні умови на цій ділянці формують досить стабільний рівень вибору швидкості водіями. Водночас на вул. Краснодарська та вул. 12-го Квітня зафіксовано ширший діапазон швидкостей, а максимальні значення становлять відповідно 90 і 95 км/год. Це дає підстави вважати, що на окремих місцевих вулицях існують умови для руху з підвищеними швидкостями. З позицій безпеки дорожнього руху така ситуація потребує додаткової уваги, оскільки місцеві вулиці мають більш тісний контакт із житловою забудовою, пішохідним рухом і локальними маневрами.

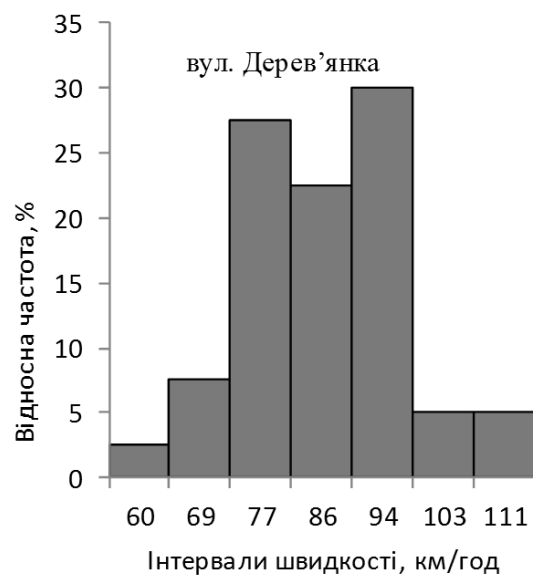
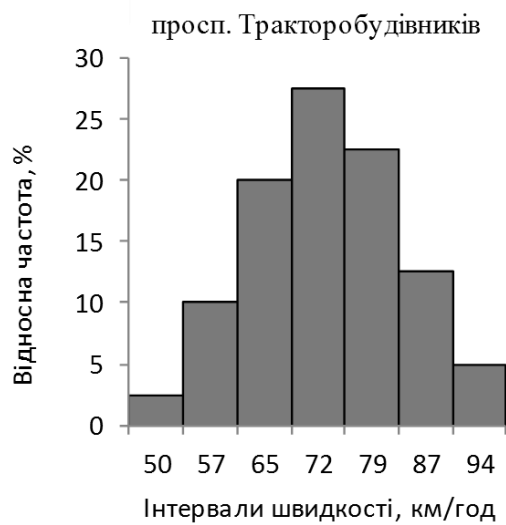
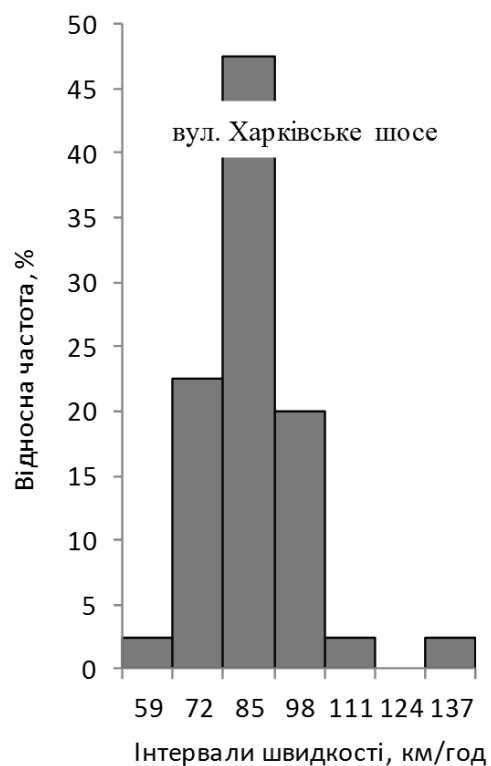
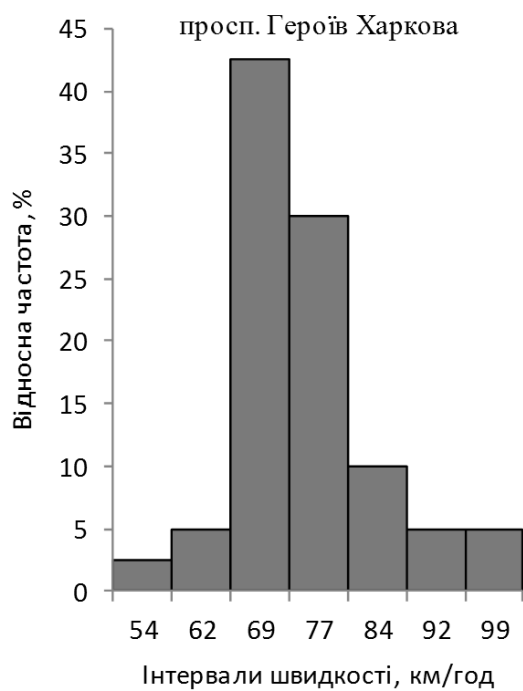


Рисунок 10.2 – Гістограми розподілу швидкостей вільного руху для ділянок вимірювання магістральних вулиць

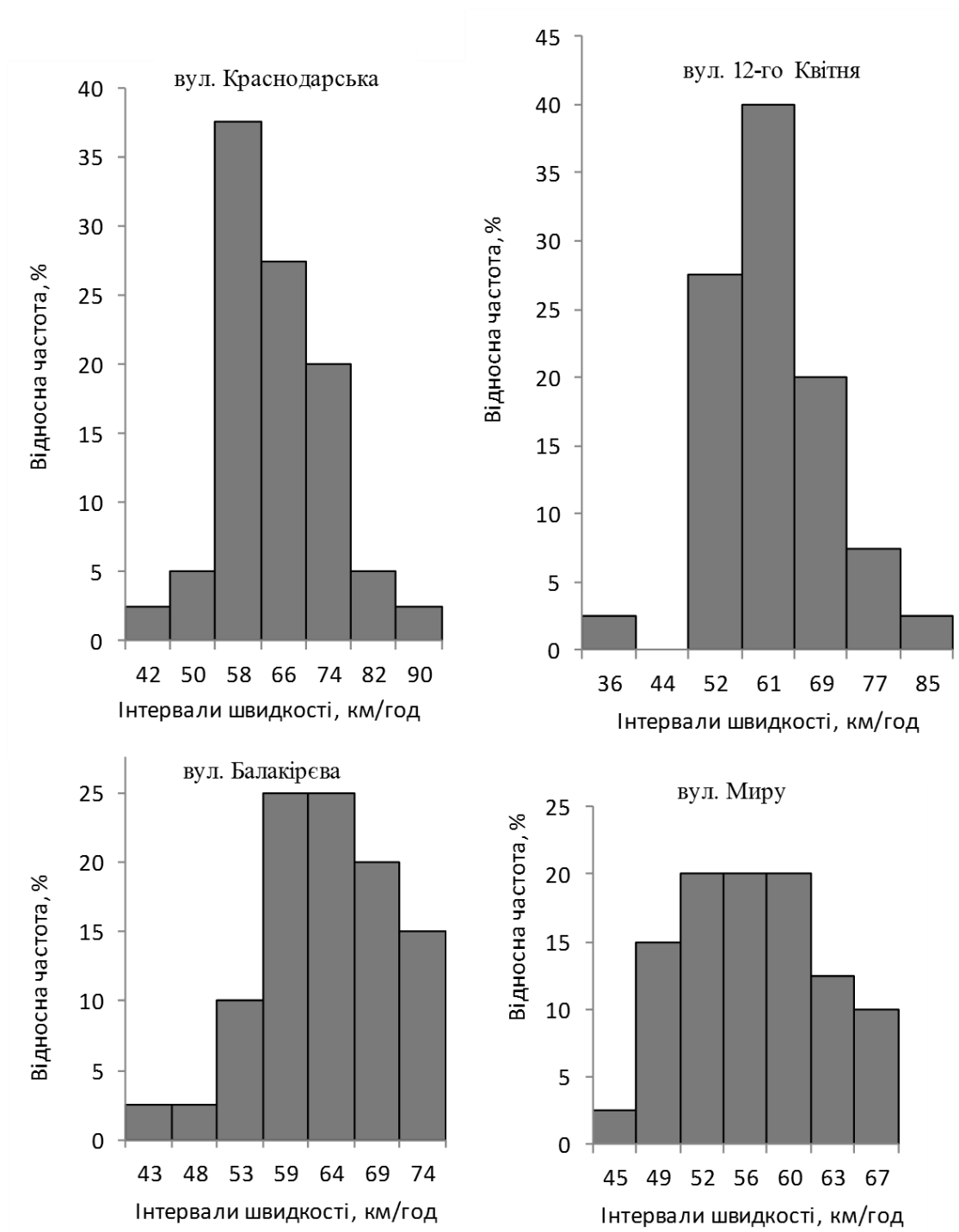


Рисунок 10.3 – Гістограми розподілу швидкостей вільного руху для ділянок вимірювання вулиць місцевого значення

Для оцінки взаємного зміщення розподілів ефективним наочним інструментом є Box-plot діаграма (рис. 10.4). Розташування боксів підтверджує загальне зміщення розподілів магістральних вулиць у бік вищих швидкостей порівняно з вулицями місцевого значення. Медіанні значення для магістральних ділянок переважно

розташовані вище, ніж для місцевих. При цьому на окремих магістральних вулицях наявні викиди та екстремальні значення, що вказує на більшу ймовірність появи високошвидкісних спостережень.

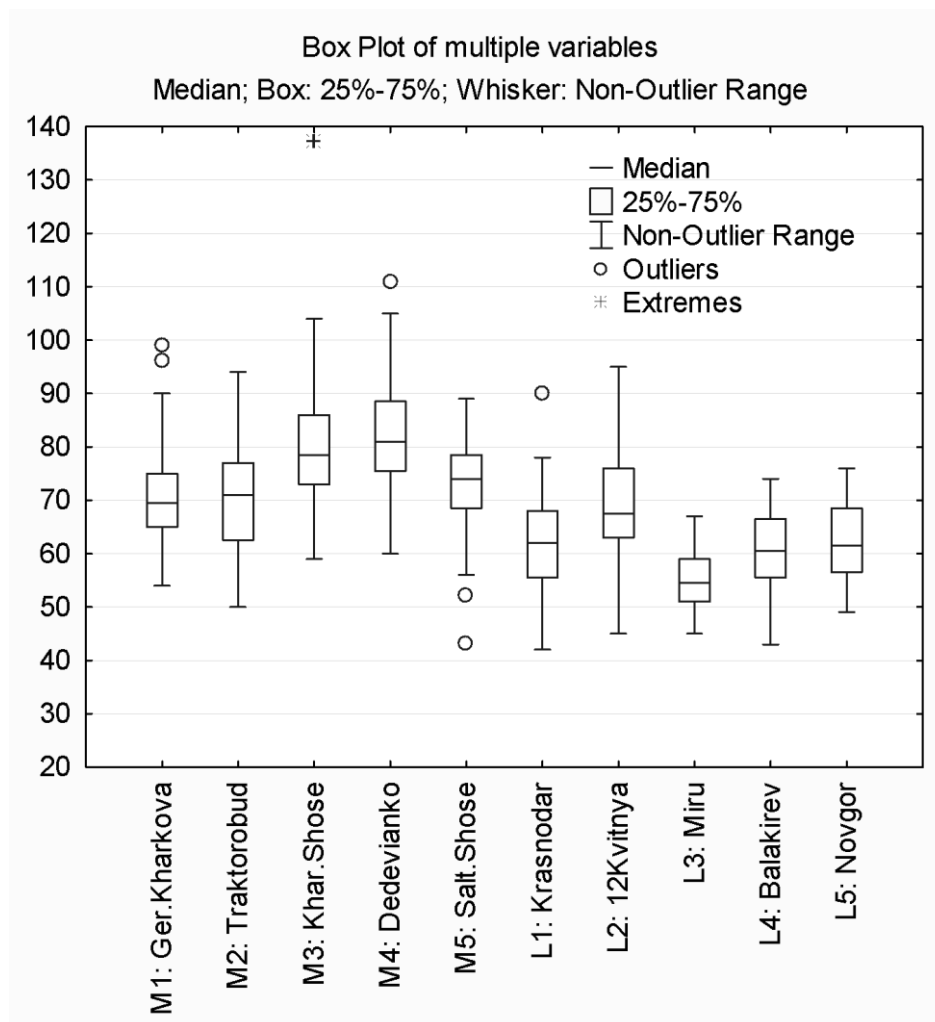


Рисунок 10.4 – Box & Plot діаграми для медіанних значень

На рис. 10.5 представлені графіки накопичувальних частот, які також демонструють розділення двох груп вулиць. Криві для магістральних вулиць зміщені праворуч, що відповідає вищим швидкостям. Криві для вулиць місцевого значення розташовані лівіше, тобто більша частка автомобілів досягає накопиченої частоти 85 % при нижчих значеннях швидкості. Це ще раз підтверджує доцільність використання процентільних характеристик, зокрема V_{85} , для порівняння швидкісних режимів на ділянках ВДМ.

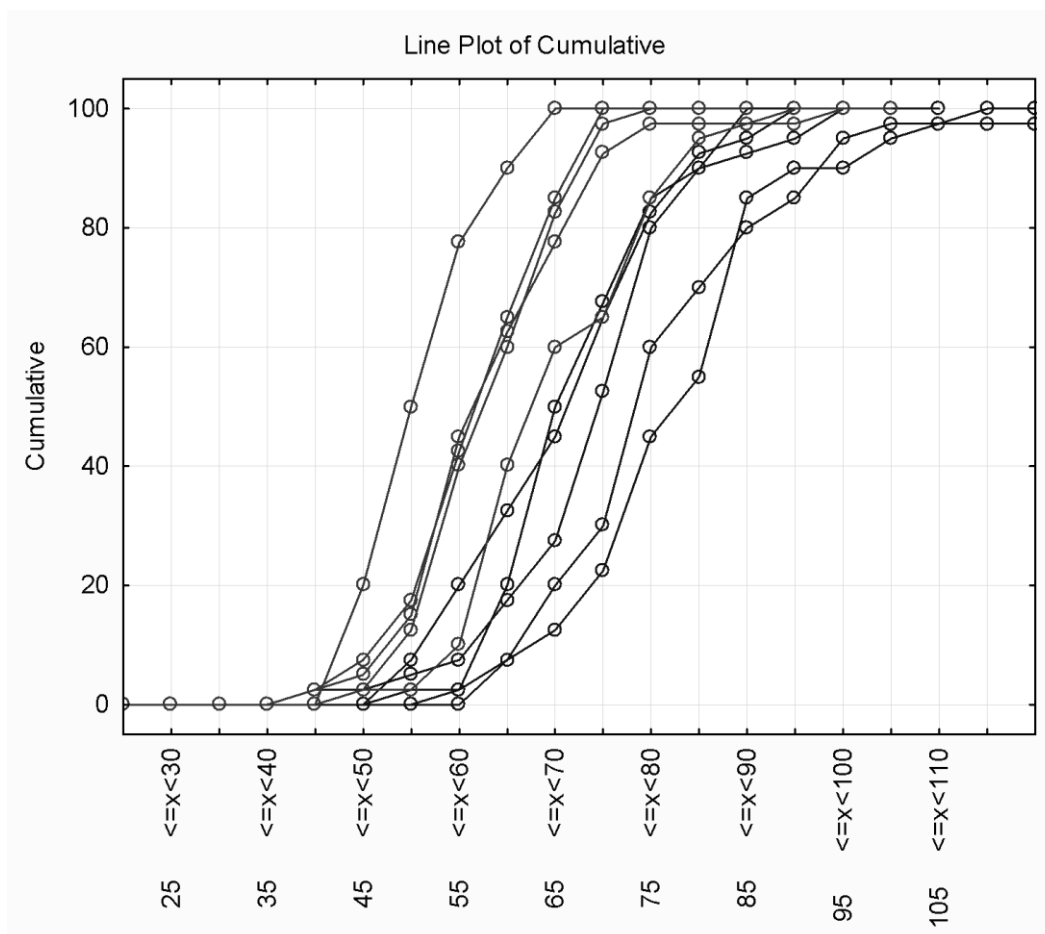


Рисунок 10.5 – Графіки накопичувальних частот

Для оцінки статистичної природи отриманих розподілів було виконано перевірку на нормальність. Використовувалися графічні методи, зокрема normal probability plots, а також статистичні критерії Колмогорова – Смирнова та Шапіро – Уїлка. Результати оцінки наведені на рис. 10.6.

Результати перевірки свідчать, що не всі розподіли швидкостей можуть бути однозначно описані нормальним законом. За критерієм Шапіро – Уїлка відхилення від нормального розподілу зафіксовано для окремих магістральних ділянок, зокрема просп. Героїв Харкова, вул. Харківське шосе та вул. Салтівське шосе. Це пов'язано з асиметрією розподілів, наявністю високих або низьких крайніх значень, що вказує на неоднорідністю умов вибору швидкості. Для більшості вулиць місцевого значення розподіли є ближчими до нормального закону. Це пояснюється більш компактним діапазоном швидкостей і меншою кількістю екстремальних значень. Однак навіть у

цьому випадку результати необхідно інтерпретувати з урахуванням обмеженого обсягу вибірки та конкретних умов проведення вимірювань.

Variable	Descriptive Statistics (Data speed Kharkiv)	
	Kolmogorov-Smirnov test	Shapiro-Wilk test
M1: Ger.Kharkova	K-S d=,12443, p> .20; Lilliefors p<,15	Shapiro-Wilk W=,91204, p=,00437
M2: Traktorobud	K-S d=,06616, p> .20; Lilliefors p> .20	Shapiro-Wilk W=,98837, p=,94900
M3: Khar.Shose	K-S d=,14203, p> .20; Lilliefors p<,05	Shapiro-Wilk W=,88011, p=,00053
M4: Dedeianko	K-S d=,11889, p> .20; Lilliefors p<,20	Shapiro-Wilk W=,97539, p=,52332
M5: Salt.Shose	K-S d=,11763, p> .20; Lilliefors p<,20	Shapiro-Wilk W=,93496, p=,02346
L1: Krasnodar	K-S d=,12950, p> .20; Lilliefors p<,10	Shapiro-Wilk W=,96899, p=,33421
L2: 12Kvitnya	K-S d=,11602, p> .20; Lilliefors p> .20	Shapiro-Wilk W=,96620, p=,27111
L3: Miru	K-S d=,08303, p> .20; Lilliefors p> .20	Shapiro-Wilk W=,96817, p=,31449
L4: Balakirev	K-S d=,06440, p> .20; Lilliefors p> .20	Shapiro-Wilk W=,98301, p=,79903
L5: Novgor	K-S d=,11934, p> .20; Lilliefors p<,20	Shapiro-Wilk W=,96912, p=,33734

Рисунок 10.6 – Результати перевірки розподілів на нормальність

Факт відхилення частини розподілів від нормальності має більше методичне, ніж науково-практичне значення. Він показує, що при подальшому статистичному порівнянні доцільно використовувати не лише середні значення, а й медіани, процентилі, графічний аналіз і, за потреби, непараметричні критерії. Це дозволяє уникнути спрощеної інтерпретації швидкісного режиму лише через середню швидкість.

11 АНАЛІЗ БЕЗПЕКОВИХ, ЕКОНОМІЧНИХ ТА СОЦІАЛЬНИХ НАСЛІДКІВ В РЕЗУЛЬТАТІ ЗМІН ТЕХНІЧНИХ УМОВ ДО СВІТЛОФОРНИХ ПРИСТРОЇВ ЗГІДНО ДСТУ 4092-2024

Наказом Національного органу стандартизації від 15 листопада 2024 року було прийнято новий національний стандарт ДСТУ 4092:2024 «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні умови». Він був розроблений на заміну попереднього документа 2002 року з наданням чинності з 1 травня 2025 року [103].

До цього часу в Україні одночасно залишалися чинними два нормативні документи, що регламентують вимоги до дорожніх світлофорів: ДСТУ 4092:2002 «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки» та ДСТУ EN 12368:2017 «Устаткування для регулювання дорожнього руху. Світлофори» (прийнятий методом підтвердження та гармонізований із європейським стандартом EN 12368:2015) [104-105]. Зазначені стандарти мають суттєві розбіжності в частині технічних параметрів.

Відтепер нормативно-правове регулювання у сфері дорожнього руху буде здійснюватися виключно на підставі єдиної системи технічних стандартів, повністю гармонізованої із законодавством Європейського Союзу, що має суттєве позитивне значення.

У межах розроблення нового стандарту ДСТУ 4092:2024 було запропоновано низку принципових змін та термінологічних нововведень, що має вагому перевагу для подальшого розвитку всієї інфраструктури. Уперше у вітчизняній нормативній практиці введено та офіційно закріплено стандартизовані визначення понять «світлофор» та «світлофорний об'єкт». Раніше ці терміни активно використовувалися на практиці, але не мали чіткого юридичного та технічного тлумачення в жодному профільному документі. Впроваджено офіційне поняття «комплекс звукового та тактильного дублювання сигналів пішохідних світлофорів» (рис. 11.1). Це обладнання забезпечує дублювання сигналів для маломобільних груп населення та

пішоходів з порушеннями зору. Регламентація таких систем суттєво підвищує загальний рівень безпеки та доступності міського простору.



Рисунок 11.1 - Комплекс звукового та тактильного дублювання сигналів пішохідних світлофорів в місті Києві [106]

Нормативну базу доповнено визначеннями таких критично важливих елементів регулювання, як «дорожній контролер», «такт регулювання», «фаза регулювання» та «цикл регулювання».

У новому ДСТУ 4092:2024 вимоги до меж колірних зон зеленого сигналу світлофора, а також граничних відхилень діаметрів лінз та інших технічних параметрів повністю узгоджено з європейськими стандартами. Це усунуло будь-які нормативні суперечності між українським та європейським законодавством у цій сфері.

Окрему увагу приділено стандартизації зображення стрілок та символів на робочих поверхнях сигнальних модулів:

- червоний та жовтий сигнали: стрілка завжди зображується у вигляді чорного контуру на кольоровому тлі;
- зелений сигнал (без додаткової секції або безпосередньо на додатковій секції): виконується у вигляді зеленої прозорої стрілки на чорному тлі;
- основна секція зеленого сигналу (за наявності додаткової секції): стрілка наноситься як чорний контур на кольоровому тлі (аналогічно до червоного та жовтого сигналів).

Крім того, оновлено дизайн піктограм пішоходів та велосипедів - відтепер вони відображаються виключно на чорному тлі (рис. 11.2).

У новому стандарті застосовуються так звані шевронні стрілки. Завдяки своїй геометрії вони значно краще сприймаються водіями з великої відстані. Особливо ефективним це рішення є в умовах ускладненої видимості, наприклад, коли світлофор розташований із сонячного боку і піддається прямому засвіченню - шевронний контур у такому разі залишається чітким та розпізнаваним.

Щодо світловідбивних екранів, у новому стандарті уточнено та розширено правила їхнього застосування.

Відтепер форма екрана може бути як класичною прямокутною, так і повторювати безпосередній контур самого світлофора. Дозволено встановлювати фонові екрани на світлофорах без додаткових секцій. Це рішення використовується у випадках, коли необхідно підвищити помітність об'єкта та забезпечити його чітке візуальне виділення на тлі складного навколишнього середовища.

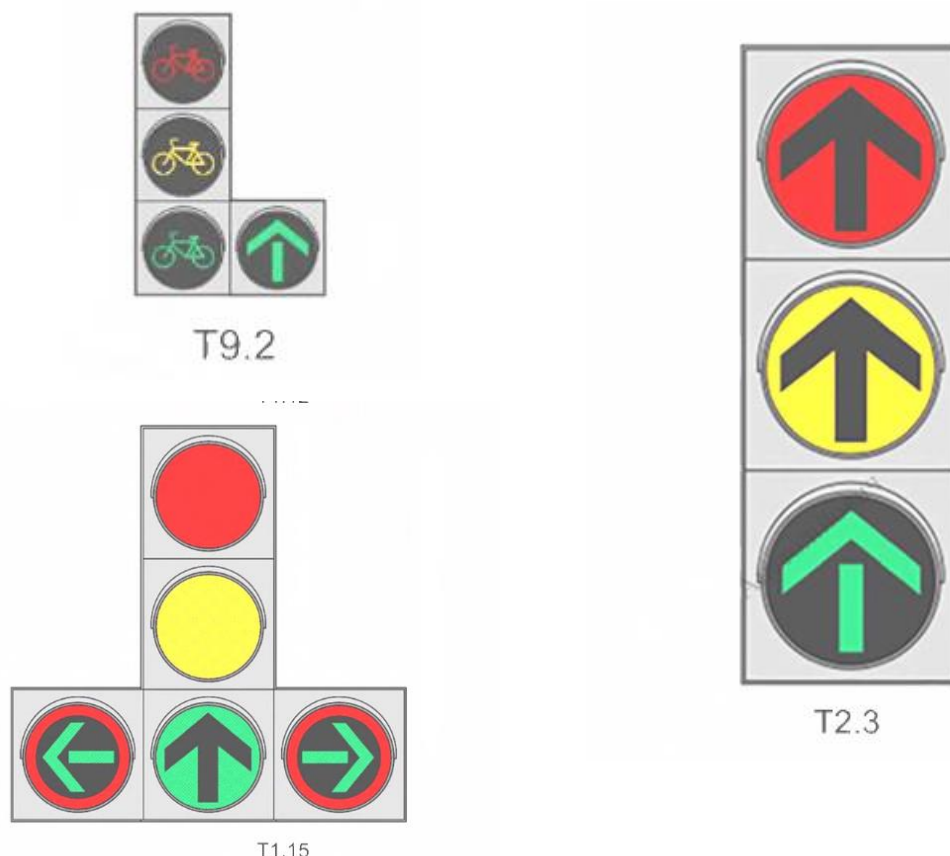


Рисунок 11.2 – Приклади світлофорів в ДСТУ 4092:2024 [103]

Якщо світлофор орієнтований на південну сторону (піддається інтенсивному сонячному випромінюванню), допускається використання фонових екранів чорного кольору. Вони не відбивають світло, але створюють максимальний контраст, що суттєво покращує видимість сигналів.

Для світлофорів, які встановлюються на ділянках проведення дорожньо-ремонтних робіт, з метою привернення особливої уваги водіїв дозволено застосовувати фонові екрани яскраво-жовтого кольору.

Суттєвим нововведенням стала оптимізація роботи світлофорів із додатковими секціями. Відтепер, коли сигнал у додатковій секції є заборонним, на її робочій поверхні вмикається червоне контурне коло. Це технічне рішення дозволяє водієві чітко розуміти, що додаткова секція активна та справна, а не просто вимкнена. Таким чином, водій спокійно очікує на ввімкнення зеленої стрілки, не створюючи аварійних ситуацій і точно знаючи напрямки, рух за якими наразі заборонено (рис. 11.3).

Крім того, новим стандартом розширено класифікацію та модифікації регулювальних пристроїв.

Світлофори Типу 2 для регулювання розвороту: у попередній редакції документа такі моделі були відсутні. Раніше для цього використовувалися звичайні світлофори із сигналом повороту ліворуч. Проте на практиці це часто дезорієнтувало водіїв, які (особливо за відсутності або поганої видимості дорожніх знаків) не могли однозначно визначити, чи дозволено розворот на конкретній ділянці. Впровадження окремої модифікації Типу 2 зі стрілкою розвороту повністю розв'язує цю проблему та підвищує безпеку маневрування (рис. 11.4).

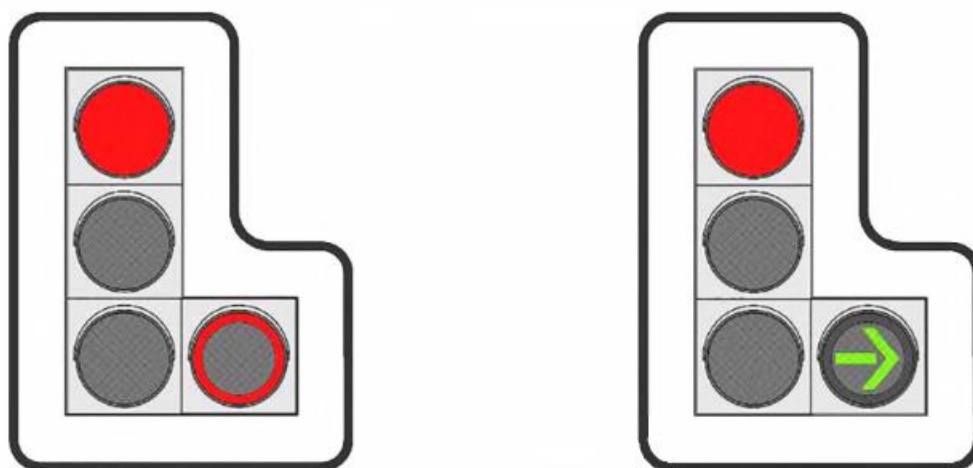


Рисунок 11.3 – Приклад застосування світлофору з додатковою секцією, на якій зображено червоне коло під час заборонного сигналу світлофора [103]

Двосекційні світлофори Типу 8 (червоний та зелений сигнали): цей новий тип призначений для регулювання руху на закритих чи приватних територіях (наприклад, паркінгах, логістичних центрах, підприємствах), а також для організації реверсного або почергового проїзду однією смугою в обох напрямках у зонах проведення довготривалих дорожньо-ремонтних робіт (рис. 11.5).

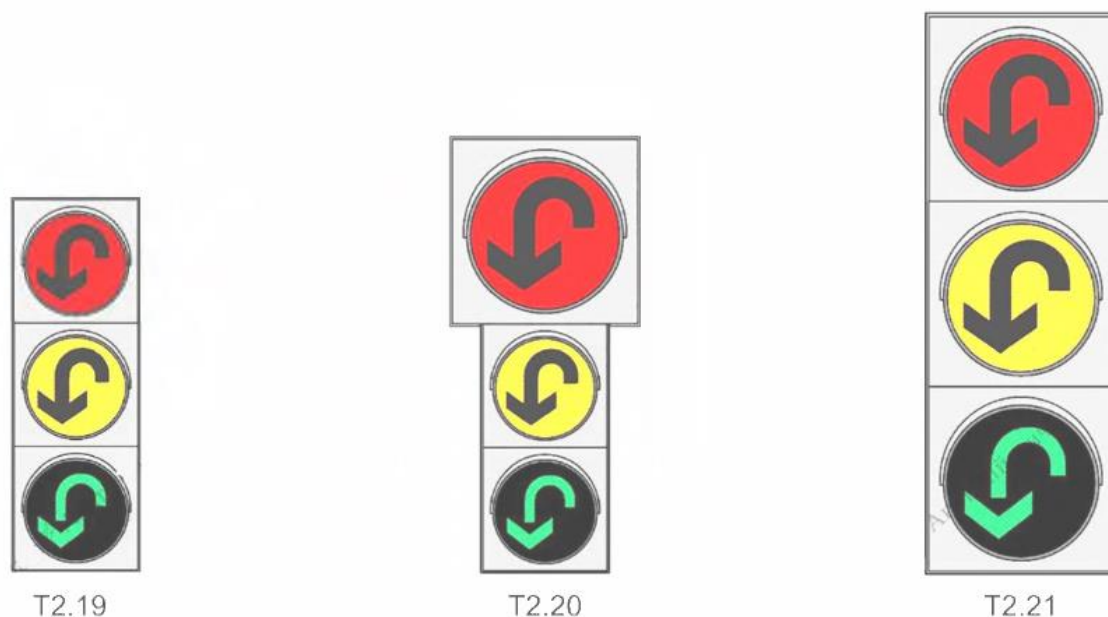


Рисунок 11.4 – Різновид світлофорів Типу 2 на розворот [103]

Тип 8



Рисунок 11.5 – Світлофори Типу 8 [103]

Було додано окремий тип світлофорів 9 – світлофори для велосипедистів з додатковою секцією і без такої з діаметром 100 та 200 мм. Оскільки окрема велосипедна фаза може суттєво відрізнятися від автомобільної, впровадження таких світлофорів дозволяє уникнути «сліпих зон»: велосипедисти починають рух раніше за автомобілі, які повертають праворуч та чітко розділити потоки: лінзи діаметром

100 мм та 200 мм (із секціями чи без) унеможливлюють плутанину між водіями авто та велосипедистами (рис. 11.6).

Чинним національним стандартом ДСТУ 4092:2024 впроваджено новий різновид технічних засобів регулювання дорожнього руху, а саме пішохідні світлофори Тип 2. Зазначений тип світлофорних об'єктів призначений для регулювання руху на ділянках, де проїзна частина автомобільної дороги одночасно перетинається пішохідним переходом та велосипедним переїздом, за умови, що рух обох категорій учасників дорожнього руху здійснюється в межах однієї (суміщеної) дозволяючої фази регулювання (рис. 11.7).

Застосування пішохідних світлофорів Типу 2 є технічно та економічно доцільним рішенням, оскільки воно дозволяє оптимізувати світлофорний об'єкт шляхом заміни двох окремих сигнальних пристроїв (пішохідного та велосипедного) на один уніфікований. Це знижує капітальні витрати на закупівлю та монтаж обладнання, зменшує візуальне навантаження на перехресті та забезпечує чітке і зрозуміле інформування учасників руху.

З метою підвищення безпеки дорожнього руху та покращення кута огляду в умовах обмеженого простору або складної геометрії перехресть, новий стандарт офіційно дозволяє коригувати просторове положення світлофорних корпусів:

- для світлофорів, розташованих збоку від проїзної частини (на вертикальних опорах): допускається їхній розворот по горизонтальній осі на кут до 30° у напрямку лінії зору водія на під'їзді до перехрестя;

- для світлофорів, розміщених над проїзною частиною (на консольних та рамних опорах): передбачено можливість їхнього вертикального або горизонтального нахилу та повороту в бік транспортного потоку для оптимізації сприйняття оптичних сигналів.

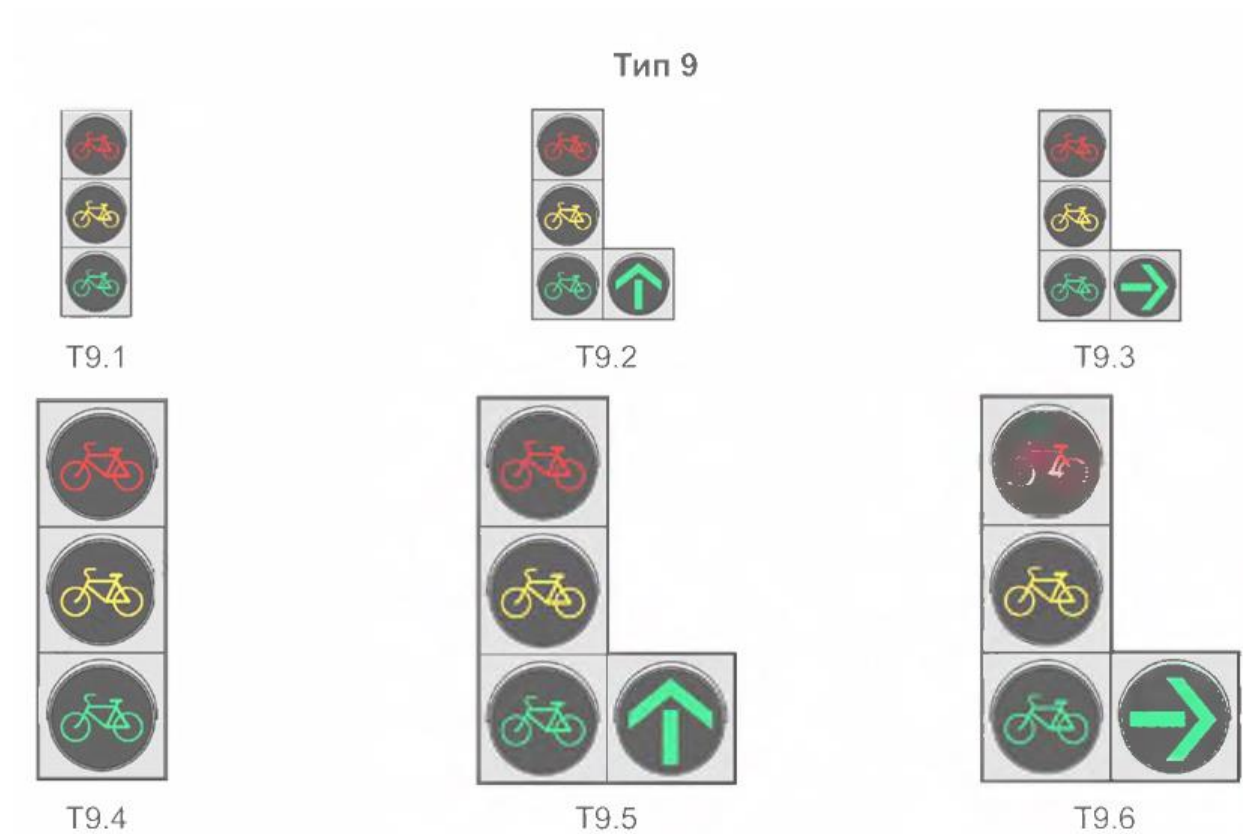


Рисунок 11.6 – Світлофори Типу 9 [103]



Рисунок 11.7 – Пішохідні світлофори Тип 2 [103]

Зазначені заходи дозволяють усунути проблему «сліпих зон», компенсувати несприятливі умови освітлення (наприклад, сонячне засліплення) та гарантувати безперешкодне зчитування дорожньої інформації водіями з нормативної відстані.

У новій редакції національного стандарту суттєво розширено функціональні можливості та технічні вимоги щодо застосування світлофорів для організації реверсивного руху (Тип 4). Оновлені положення дозволяють більш гнучко та ефективно керувати транспортними потоками на магістральних вулицях зі змінною інтенсивністю руху за напрямками.

Зокрема, нормативно регламентовано алгоритми роботи світлофорних пристроїв над реверсивними смугами, що забезпечує підвищений рівень безпеки під час зміни фаз руху.

Відповідно до оновлених нормативних вимог, особливу увагу приділено регулюванню руху на світлофорних пристроїв, що мають символи контурних стрілок на основних лінзах (зокрема, для світлофорів типу 2 зі стрілкою). Для підвищення рівня інформативності та чіткого визначення дозволених напрямків руху, такі світлофорні конструкції мають бути додатково обладнані спеціальними інформаційними табличками (рис. 11.8).

Головною метою застосування цих табличок є чітке просторове позначення траєкторії, за якою дозволено рух транспортних засобів під конкретний сигнал світлофора. Це мінімізує ймовірність помилкових маневрів водіїв, особливо на перехрестях зі складною геометрією або великою кількістю смуг.

Було розроблено та затверджено офіційні еталонні зображення таблички зі стрілкою зеленого кольору, а також чітку розмірну сітку (габаритні параметри) залежно від типу та розміру світлофорного пристрою, на якому вона монтується. Чітко визначено перелік нормативних умов, за яких встановлення цієї таблички є допустимим та доцільним для підвищення пропускної здатності перехрестя шляхом дозволу повороту праворуч (або ліворуч на дорогах з одностороннім рухом) за умови надання переваги іншим учасникам руху.

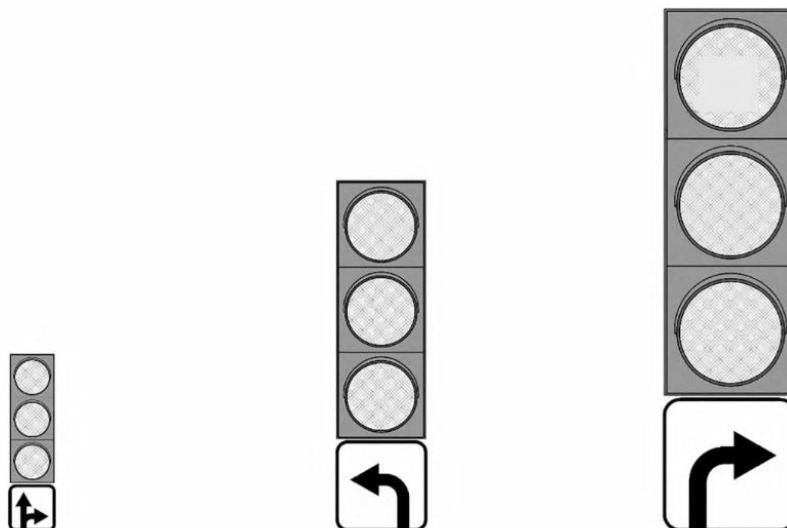


Рисунок 11.8 – Приклад застосування таблички зі світлофорами [103]

Вперше на рівні стандарту закріплено перелік умов, за яких застосовувати зазначену табличку суворо не дозволено (зокрема, у разі високої інтенсивності пішохідних потоків, наявності конфліктних велопереїздів, обмеженої видимості або на аварійно-небезпечних ділянках).

З метою підвищення рівня безпеки найбільш вразливих категорій учасників дорожнього руху та враховуючи сучасні тенденції цифровізації суспільства (зокрема, масове використання пішоходами мобільних пристроїв під час руху), оновленими нормами передбачено можливість синхронізації роботи пішохідних світлофорів із активними дорожніми розмічальними вставками. Активні світлодіодні вставки монтуються безпосередньо у покриття тротуару (пішохідної доріжки) безпосередньо перед лінією виходу на проїзну частину (перед бордюрним каменем). Робота вставок апаратно інтегрується із дорожнім контролером світлофорного об'єкта. Вони дублюють поточний сигнал пішохідного світлофора в режимі реального часу, підсвічуючись червоним або зеленим кольором відповідно. Додаткова світлова індикація під ногами фокусує на собі увагу пішоходів. Це чітко сигналізує про можливість або заборону перетину проїзної частини, мінімізуючи ризик неуважного виходу на дорогу.

Наявність табло зворотного відліку часу (ТЗОЧ) у довідковому додатку означає, що їхнє встановлення не є обов'язковою вимогою для кожного світлофорного об'єкта. Рішення про їхнє застосування ухвалюється на етапі проектування залежно від категорії вулиці та інтенсивності руху.

Уперше до структури стандарту внесено спеціальний довідковий додаток, який визначає геометричну форму та лінійні розміри козирків світлофорів (у попередній редакції стандарту будь-які згадки чи технічні вимоги до цих елементів були повністю відсутні). Зазначений додаток щодо козирків має виключно довідковий характер.

Важливим доповненням технічних вимог національного стандарту стало впровадження спеціального варіанта інформаційної таблички, яка призначена для сумісного встановлення виключно із велосипедними світлофорами (Тип 9), обладнаними додатковою секцією. Необхідність нормативного закріплення цього елемента зумовлена такими факторами:

- інформаційна табличка чітко вказує, що оптичні сигнали як основної розсіювальної лінзи, так і додаткової (поворотної) секції поширюються виключно на осіб, які керують велосипедами на виділеній смузі;

- наявність цього маркування дозволяє повністю мінімізувати ймовірність виникнення помилок та невірної сприйняття дорожньої інформації водіями інших (механічних) транспортних засобів. Це унеможливорює ситуації, коли водії автотранспорту можуть помилково сприйняти зелений сигнал у додатковій велосипедній секції як дозвіл для власного маневру (наприклад, повороту праворуч у конфліктну зону);

- чітке візуальне розмежування автомобільних та велосипедних світлофорних комплексів на одному перехресті забезпечує однозначність трактування сигналів та підвищує загальний рівень безпеки дорожнього руху в умовах інтенсивних багатофазних розв'язок.

Таким чином, впровадження оновленого ДСТУ 4092:2024 має системний характер і зумовлює значні позитивні зрушення у трьох ключових секторах.

1. Безпекові наслідки (Принципи Vision Zero):

- мінімізація людського фактора: чітке розмежування та маркування додаткових секцій (особливо для велосипедного руху) ліквідує плутанину та унеможливорює невірне трактування сигналів водіями інших транспортних засобів;

- захист вразливих учасників руху: впровадження активних дорожніх вставок під ногами пішоходів створює додатковий превентивний бар'єр для неуважних громадян та молоді з гаджетами, суттєво знижуючи ризик наїздів;

- безпечний реверс: жорсткі вимоги до автоматизації реверсивного руху повністю виключають ризик виникнення лобових зіткнень через некоректну зміну напрямку смуг;

- оптимізація видимості: дозвіл на розворот світлофорів до 30° гарантує безперешкодне зчитування сигналів у складних геометричних умовах перехресть.

2. Економічні наслідки:

- раціоналізація капітальних витрат: застосування комбінованих велопішохідних світлофорів (Тип 2) замість проектування окремих пішохідних та велосипедних комплексів дозволяє міським бюджетам економити кошти на закупівлі обладнання, опор, кабельної продукції та монтажних роботах;

- зниження експлуатаційних витрат: зменшення загальної кількості фізичних світлофорних одиниць на перехрестях пропорційно знижує витрати на їх подальше технічне обслуговування, ремонт та енергоспоживання;

- ефективне використання наявної мережі: розширення можливостей реверсивного руху дозволяє збільшувати пропускну здатність магістралей у години пік без залучення колосальних капіталовкладень у фізичне розширення або будівництво нових смуг доріг.

3. Соціальні наслідки:

- розвиток сталої мобільності: легалізація та чітке регулювання велосипедних фаз стимулює громадян частіше обирати екологічний транспорт (велосипеди, самокати), зменшуючи навантаження на громадський транспорт та рівень заторів;

- підвищення безбар'єрності та комфорту: уніфікація застосування ТЗОЧ для пішоходів та велосипедистів створює прогнозоване, комфортне та психологічно

спокійне міське середовище, де кожен учасник чітко розуміє часові межі свого маневру.

12 МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ДОРОЖНІХ ПАГОРБІВ НА РОБОТУ НЕРЕГУЛЬОВАНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ

Дорожні пагорби (ДП), або “лежачі поліцейські” (ЛП), є ефективним засобом примусового зниження швидкості транспортних засобів (ТЗ) та підвищення безпеки дорожнього руху (БДР), особливо в зонах з інтенсивним пішохідним рухом. Однак, їхні параметри мають значний вплив на ефективність руху транспортного потоку (ТП). Неправильно спроектовані або встановлені ДП можуть призводити до заторів, збільшення часу в дорозі, підвищення витрати пального та рівня викиду шкідливих речовин [107]. Дане дослідження спрямоване на вирішення цих проблем шляхом розробки регресійних моделей, які дозволять прогнозувати зміну швидкості транспортних засобів в залежності від конструктивних особливостей ДП. Додатково буде проведено аналіз впливу ДП на Рівень Обслуговування (LOS) дороги за допомогою симуляції. З огляду на недостатність подібних досліджень Україні, результати цієї роботи мають стати основою для науково обґрунтованого проектування дорожніх пагорбів у майбутньому.

ДП – це закруглені підняті ділянки дорожнього покриття з параболічним, круглим та синусоїдальним поперечним перерізом. Вони є найпоширенішим типом пристроїв для заспокоєння руху завдяки низькій вартості та простоті встановлення. Найпоширенішою конструкцією ДП є профіль Ваттса або круглий ЛП. Більшість ТЗ можуть безпечно перетинати їх зі швидкістю 25–30 км/год. ЛП розроблені для створення “гойдалки”, яка збільшує дискомфорт водія зі збільшенням швидкості переходу [108].

В роботі [109] авторами пояснюється зниження швидкості руху на 1 км/год кожним сантиметром збільшення висоти ДП. Прикладами попередніх досліджень, які вивчали вплив ДП різних характеристик на зниження швидкості ТЗ, є роботи [110, 111], в яких вивчається вплив ДП різної висоти (3, 5 та 7 см) на зниження швидкості ТЗ. Були проведені вимірювання швидкості через 1 день та 1 місяць після встановлення та до встановлення ЛП. Порівняння між різними вимірюваннями

швидкості проводилося за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) та post hoc аналізу. Результати показали, що в місцях встановлення ДП спостерігалось значне зниження швидкості порівняно з періодом до їх встановлення.

В роботі [112] розроблено модель для оцінки впливу характеристик ДП на час затримки в Йорданії. Модель показала, що ДП спричиняють значні затримки в місцях їх розташування. В роботі [113] також представлено практичне дослідження для збору та аналізу даних про час подорожі на основі GPS з метою оцінки впливу ДП на час подорожі та затримки на міжміських дорогах в Єгипті. Результати довели, що на величину затримки подорожі в різний час доби значною мірою впливає наявність ДП.

Кілька досліджень досліджували вплив ДП на обсяг транспорту та рівень шуму. Результати підтвердили шкідливий вплив ДП. В роботі [114] авторами досліджено вплив ДП на обсяг транспорту та рівень шуму в житловому районі Куала-Лумпуру. Для вимірювання даних про обсяг транспорту та рівень шуму були проведені польові дослідження на трьох вибраних дорогах. Перше вимірювання рівня шуму на дорозі показало найвищий обсяг транспорту та найвищий рівень шуму. Кореляційний аналіз показав подібну закономірність у взаємозв'язку між обсягом транспорту та рівнем шуму.

В роботах [115, 116] використовували радар-пістолети для вимірювання швидкості різноманітних ТЗ. У роботі [115] вимірювання проводилися на значно ширшому діапазоні — від -100 м до 80 м від ДП. Натомість, дослідження [116] зосередилося на вузьчій зоні, а саме від -20 м до 20 м від ДП. Але основним недоліком роботах [9, 10] є неможливість вимірювання швидкості того самого ТЗ у кількох точках.

В роботі [117] використовували радар-пістолет для вимірювання швидкості на шістьох ідентичних ДП. Основне обмеження їхньої роботи полягало в тому, що вона не дозволяла аналізувати загальний вплив ДП на швидкість ТЗ, а лише порівнювати характеристики різних профілів швидкості.

В роботі [118] застосували інноваційний підхід, використовуючи дрон-камеру для відеозйомки та програмне забезпечення Tracker для вилучення вимірювань

швидкості. Проте прогалиною цього дослідження було те, що воно проводилося лише для одного конкретного ДП, обмежуючи узагальнення результатів.

В роботі [119] також використовував радар-пістолет, проводячи вимірювання швидкості на відстанях 10 м, 7 м, 5 м та 2 м (ліворуч та праворуч від пагорба). Обмеженням його роботи було те, що дані збиралися лише для двох категорій ТЗ.

В роботі [120] також використовували радар-пістолет для вимірювання швидкості до встановлення ДП, а також через один день та один місяць після встановлення. Вимірювання проводилися в діапазоні 40 метрів до, після та безпосередньо на ДП. Автори виділили, що встановлення ДП є більш дорогим процесом і вимагає погодження з кількома відділами/органами.

В роботі [121] застосували техніку відеокамери для вимірювання швидкості ТЗ, збираючи дані про обсяг руху кожні 15 хвилин. Вимірювання швидкості проводилися на відстанях 10 м, 7 м, 4 м та 1 м до і після уповільнювача швидкості. Однак, виявлено, що цей підхід виявився менш ефективним порівняно з вимірюванням за допомогою радар-пістолета.

В роботі [122] використовували мікросимуляцію PTV VISSIM для моделювання руху окремих ТЗ та вимірювання ефективності дорожнього руху. Для симуляції ЛП вони застосовували інструмент Reduced Speed Area (RSA). Однак, суттєвою прогалиною в їхньому дослідженні було те, що модель не була відкалібрована.

Дослідження [123] також спиралося на мікросимуляцію PTV VISSIM для моделювання руху окремих ТЗ та вимірювання ефективності дорожнього руху. Вони також використовували інструмент RSA для симуляції ЛП. Було розроблено дві моделі (з ЛП та без них) для кожної ділянки, а результати були зведені в таблицю. Незважаючи на це, дослідження проводилося лише для одного ЛП, що є його обмеженням.

В роботі [124] вимірювали вплив заходів обмеження швидкості на безпеку дорожнього руху та рівень обслуговування. Вони також використовували інструмент RSA для симуляції ДП. Проте, вони зазначили, що використання радар-пістолета для вимірювання швидкості є менш ефективним порівняно з технікою відеокамери.

Більшість робіт (наприклад, [115-121]) покладаються на радар-пістолети, які, як зазначається у [115, 116], не дозволяють відстежувати швидкість одного й того ж ТЗ в кількох точках. Деякі дослідження (як [119]) вказують на меншу ефективність відеокамер порівняно з радар-пістолетами, тоді як інші (як [118]) використовують дрони, але лише для одного конкретного пагорба.

Деякі дослідження (наприклад, [114]) зосереджуються виключно на обсязі ТП, повністю ігноруючи аналіз швидкості. Роботи, що вивчають час затримки ([112, 113]), не завжди інтегрують це з детальним аналізом впливу на швидкість та LOS.

У дослідженнях, які використовують мікросимуляцію PTV VISSIM ([122, 123]), виявлено проблему некаліброваних моделей, що знижує точність та достовірність отриманих результатів. Крім того, деякі симуляційні дослідження ([120]) проводилися лише для одного ЛП, що обмежує їхню узагальнювальну здатність.

Деякі дослідження ([118, 120]) збирали дані лише для обмеженої кількості категорій ТЗ, що може призвести до неповного розуміння впливу ДП на весь ТП.

Жодне з проаналізованих досліджень не розробляло регресійні моделі, які дозволяли б прогнозувати зміну швидкості ТЗ залежно від конструктивних особливостей ДП на нерегульованому перехресті, що є критично важливим для науково обґрунтованого проектування.

Таким чином, наявна наукова література хоча й підкреслює важливість ДП та їхній вплив на безпеку та ефективність руху, але не надає цілісної методології для комплексного аналізу та прогнозування їхнього впливу на швидкість і рівень обслуговування на нерегульованому перехресті. Це обґрунтовує актуальність даного дослідження, яке має на меті заповнити ці прогалини шляхом розробки регресійних моделей та симуляційного аналізу впливу дорожніх пагорбів на швидкість та LOS, що є особливо важливим для України з огляду на недостатність подібних робіт.

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста шляхом оптимізації параметрів ДП на нерегульованих перехрестях. Це допоможе зменшити затримки руху, покращити пропускну здатність та підвищити безпеку дорожнього руху, враховуючи вплив цих засобів. Результати дослідження повинні доповнити світову практику та дозволити адаптувати сучасні

підходи до українських реалій. Отримані результати можуть бути корисними як для міського планування на локальному рівні, так і для загальних транспортних досліджень у країнах із подібними умовами, сприяючи розробці ефективних рішень для оптимізації руху та зменшення затримок.

Дане дослідження сфокусоване на вивченні впливу ДП на ефективність та безпеку функціонування нерегульованих перехресть. Авторами роботи [125], спираючись на положення ДСТУ 4123:2020 Безпека дорожнього руху “Засоби заспокоєння руху”, запропоновано провести серію симуляційних експериментів у програмі PTV Vissim. Метою цих експериментів є дослідження того, як зміна ключових параметрів ДП, розташованого перед нерегульованим перехрестям (на підходах до нього), впливатиме на різні аспекти його роботи.

Параметрами ДП, які можна змінювати у PTV Vissim є:

- довжина, яка впливає на плавність гальмування та розгону, а також на протяжність зони впливу (змінюється від 1 м до 3 м);
- форма поперечного профілю, яка хоча PTV Vissim і не моделює точну форму ДП, може опосередковано впливати на поведінку через зони зниженої швидкості різної протяжності (зона зниження швидкості змінюється від 1 м до 5 м);
- відстань від стоп-лінії перехрестя, яка визначає, на якій відстані ТЗ почнуть реагувати на ДП перед зупинкою (приймається 10 – 50 м). Цей параметр є важливим для оцінки впливу пагорба на черги та процес зупинки перед перехрестям.

У межах даного дослідження, з метою забезпечення підвищення точності та контрольованості отриманих результатів, авторами було прийнято рішення зосередити симуляційні експерименти на одному нерегульованому перехресті. Використання єдиного об'єкта дослідження дозволить ефективно контролювати та мінімізувати вплив зовнішніх геометричних, топографічних та інших інфраструктурних відмінностей, які не є предметом поточного аналізу. Це забезпечує, що спостережувані варіації в ефективності функціонування перехрестя є переважно функцією маніпульованих параметрів ДП, а не наслідком унікальних особливостей різних перехресть. Таким чином, вибір одного нерегульованого перехрестя як об'єкта дослідження є свідомим методологічним кроком, спрямованим на отримання

високоякісних, релевантних та інтерпретованих даних для подальшої розробки моделі впливу ДП на швидкість ТП.

У програмному забезпеченні PTV Vissim неможливо безпосередньо змоделювати фізичну висоту ДП як 3D-об'єкт. PTV Vissim фокусується на поведінці ТП та взаємодії ТЗ з дорожньою інфраструктурою, а не на детальному геометричному рельєфі. Тому вплив висоти ДП моделюється опосередковано, через відповідні зміни в параметрах поведінки водіїв. Щоб імітувати вплив різної висоти ДП (наприклад, 0,03 м, 0,07 м, 0,1 м), необхідно використовувати наступні інструменти та налаштування у програмі PTV Vissim: на ділянці дороги, де розташований ДП, створюється "зона зниження швидкості". У межах цієї зони необхідно встановити бажану швидкість для різних типів ТЗ. Чим вища висота ДП, тим нижчою буде бажана швидкість, яку водій обирає для його перетину. Для ДП висотою 0,03 м (3 см), водії можуть підтримувати відносно вищу бажану швидкість (при симуляції будемо приймати, 20-25 км/год), для ДП висотою 0,07 м (7 см), бажана швидкість може бути значно нижчою (10-15 км/год) та для ДП висотою 0,1 м (10 см), бажана швидкість буде мінімальною (5-10 км/год) [123, 125]. Такий підхід дозволяє реалістично імітувати поведінку водіїв залежно від висоти ДП у симуляційному середовищі PTV Vissim. Рисунок 12.1 демонструє фрагмент імітації руху ТП на нерегульованому перехресті.

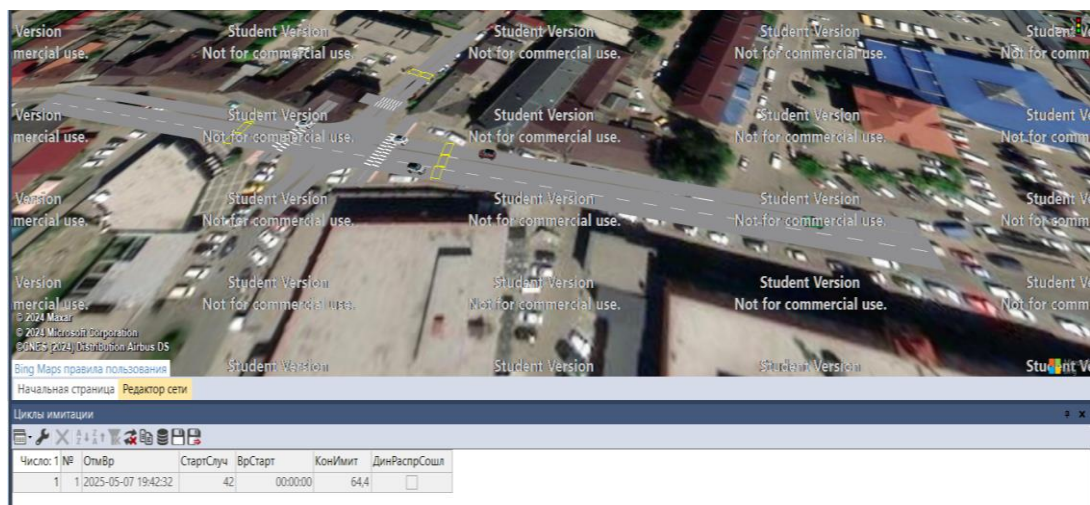


Рисунок 12.1 - Імітація руху ТП при моделюванні з використанням ДП в програмі PTV Vissim

В результаті моделювання у програмі PTV Vissim було сформовано широкий масив вихідних даних, які використовувалися для побудови моделі, що показує комплексний вплив параметрів ДП (таких як висота, ширина та відстань до стоп-лінії) на швидкість проїзду ТП в зоні нерегульованого перехрестя. Для детального аналізу та подальшої оптимізації параметрів ДП, у процесі моделювання у програмі PTV Vissim збиралась інформація щодо низки критично важливих показників. Серед них: середня затримка руху, середня довжина затору, середній час простою та кількість зупинок транспортних засобів, а також екологічні параметри – викиди CO, NO_x та витрати палива (рисунок 12.2-12.4).

Цільова функція впливу параметрів ДП на швидкість на нерегульованому перехресті має наступний вид:

$$V_{ДП} = (L_{ДП}, H_{ДП}, d_{stop}) \rightarrow \max, \quad (12.1)$$

де $L_{ДП}$ - ширина ДП, м;

$H_{ДП}$ - висота ДП, м;

d_{stop} - відстань від стоп-лінії до ДП, м.

Обмеження моделі (12.1):

$$\begin{cases} 1 \text{ м} \leq L_{ДП} \leq 3 \text{ м} \\ 0,03 \text{ м} \leq H_{ДП} \leq 0,1 \text{ м} \\ 1 \text{ м} \leq d_{stop} \leq 25 \text{ м} \end{cases} \quad (12.2)$$

Важливо зазначити, що інтенсивність транспортного та пішохідного потоків під час експерименту не змінювалася.

Для визначення виду та параметрів моделей були використана сучасна комп'ютерна програма обробки статистики STSATISTICA, яка дозволяє описати отримані дані у програмі PTV VISSIM різними видами математичних функцій.

В першу чергу необхідно отримати модель впливу параметрів ДП на швидкість ТП, що дозволить визначити, які характеристики ДП мають найбільший вплив на зміну швидкості руху.

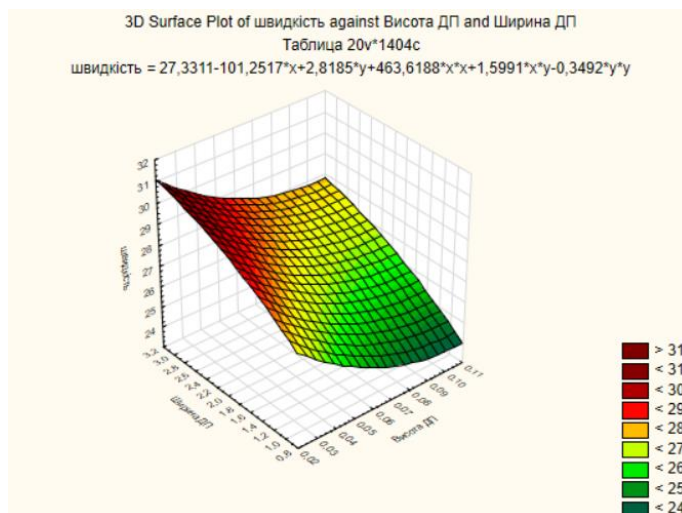


Рисунок 12.2 - Залежність швидкості від висоти та ширини ДП

Графік (рис. 12.2) демонструє, що висота ДП є значно важливішим фактором впливу на зниження швидкості, ніж його ширина в досліджуваному діапазоні параметрів. Збільшення висоти ДП призводить до різкого зменшення швидкості. Вплив ширини ДП є менш вираженим і має більш складний, ймовірно, з оптимальною зоною, характер. Для досягнення низьких швидкостей необхідно використовувати ДП з більшою висотою, проте слід враховувати вплив ширини, яка також сприяє зниженню швидкості, особливо у поєднанні з певною висотою. Модель підтверджує нелінійний характер взаємозв'язку між цими параметрами та швидкістю руху.

Усі три графіки (рис. 12.2-12.4) підкреслюють нелінійний характер взаємозв'язку між параметрами ДП та швидкістю. Висота ДП є ключовим параметром для зниження швидкості, тоді як інші параметри (Відстань від стоп-лінії, Ширина ДП, Зона впливу ДП) мають більш складний, нелінійний вплив, часто з оптимальними значеннями, які необхідно враховувати для ефективного проектування ДП.

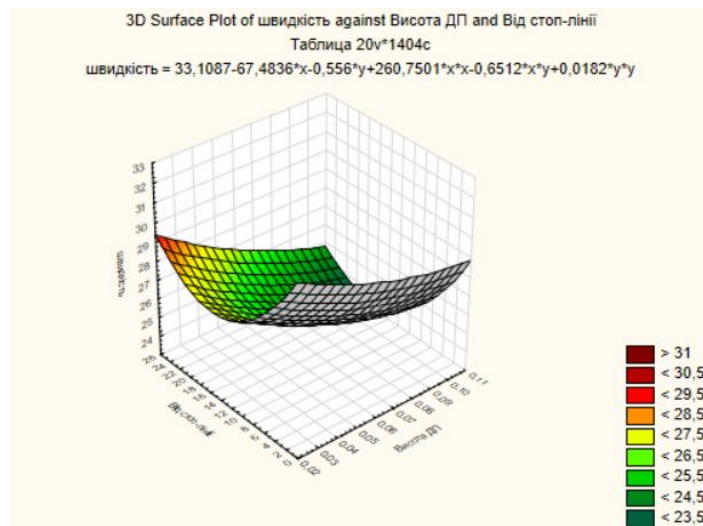


Рисунок 12.3 - Залежність швидкості від висоти та відстань від стоп-лінії до ДП

Це вказує на те, що для досягнення бажаного рівня заспокоєння руху, проектування дорожніх пагорбів має базуватися на комплексних моделях, що враховують ці нелінійні залежності та взаємодії між параметрами, а не на ізольованій оцінці кожного фактора. Застосування таких моделей дозволяє знайти баланс між ефективним зниженням швидкості та мінімізацією негативних наслідків для транспортного потоку.

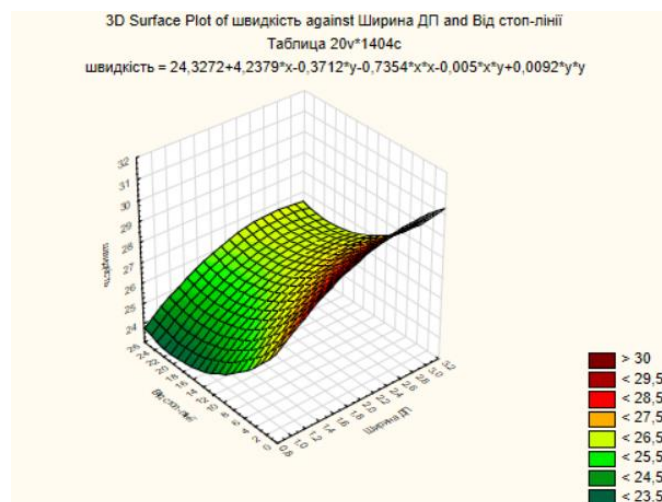


Рисунок 12.4 - Залежність швидкості від ширини та відстань від стоп-лінії до ДП

Результати обробки експериментальних даних наведені в табл. 12.1.

Таблиця 12.1 – Результати моделювання у програмі STATISTICA

Формула	Коефіцієнт кореляції, R^2	Критерій Фішера, F	Стандартна похибка, df
$V_{ДП} = 27,331 - 101,252 \cdot H_{ДП} + 2,819 \cdot L_{ДП} + 463,62 \cdot H_{ДП}^2 - 0,349 \cdot L_{ДП}^2 + 1,6 \cdot L_{ДП} \cdot H_{ДП}$	0,92	103,03	0,77
$V_{ДП} = 33,11 - 67,48 \cdot H_{ДП} - 0,56 \cdot d_{stop} + 260,75 \cdot H_{ДП}^2 + 0,018 \cdot d_{stop}^2 - 0,65 \cdot d_{stop} \cdot H_{ДП}$	0,83	112,96	1,03
$V_{ДП} = 24,32 + 4,24 \cdot L_{ДП} - 0,37 \cdot d_{stop} - 0,74 \cdot L_{ДП}^2 + 0,009 \cdot d_{stop}^2 - 0,005 \cdot d_{stop} \cdot L_{ДП}$	0,91	240,25	1,77

З отриманих моделей (табл. 12.1) можна зробити висновки, що всі отримані моделі є адекватними, про що свідчать високі коефіцієнти кореляції (R^2 від 0,83 до 0,92) та значні значення критерію Фішера (F від 103,03 до 240,25), що підтверджує їхню статистичну значущість та добру відповідність експериментальним даним. Зокрема, модель, що враховує залежність швидкості від висоти та ширини ДП, є найбільш точною та адекватною, маючи найвищий коефіцієнт кореляції 0,92 та найменшу стандартну похибку 0,77, що гарантує високу прогнозну здатність.

Наступний етап передбачає розробку моделі за формулою 1. Метою є створення математичної залежності, яка буде комплексно враховувати всі три ключові параметри ДП, що впливають на швидкість ТП. За допомогою програми STATISTICA була отримана регресія та результати моделювання представлені рис. 12.5.

Всі предиктори в моделі виявились статистично значущими (p-значення 0,00), а її загальна статистична значущість підтверджена високою F-статистикою 1238,9. Завдяки цьому та високому коефіцієнту кореляції 93,5%, отримана модель вважається адекватною.

Regression Summary for Dependent Variable: швидкість (Таблиця)						
R= ,96700105 R²= ,93509102 Adjusted R²= ,93433627						
F(3,258)=1238,9 p<0,0000 Std.Error of estimate: ,46773						
N=262	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(258)	p-value
Intercept			28,0542	0,125389	223,7369	0,00
Висота ДП	-0,431623	0,015868	-39,1490	1,439286	-27,2003	0,00
Ширина ДП	0,641052	0,015885	1,5041	0,037271	40,3553	0,00
Від стоп-лінії	-0,531226	0,015890	-0,1588	0,004749	-33,4308	0,00

Рисунок 12.5 - Результати множинної регресії

Цільова функція має наступний вид:

$$V_{\text{ДП}} = 28,1 + 1,5 \cdot L_{\text{ДП}} - 39,15 \cdot H_{\text{ДП}} - 0,16 \cdot d_{\text{стоп}}. \quad (12.3)$$

Виходячи з цих показників (рис. 12.6), можна однозначно стверджувати, що побудована регресійна модель є високо статистично значущою та адекватною. Вона успішно пояснює зміни швидкості і може бути використана для прогнозування та розуміння впливу вхідних параметрів.

Analysis of Variance; DV: швидкість (Таблиця)						
Effect	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-value	
Regress.	813,1171	3	271,0390	1238,932	0,00	
Residual	56,4422	258	0,2188			
Total	869,5593					

Рисунок 12.6 - Дисперсійний аналіз (ANOVA)

Графік (рис. 12.7) використовується для візуальної оцінки, чи відповідають залишки регресійної моделі припущенню про нормальний розподіл, що є одним з ключових припущень для достовірності статистичних висновків у регресійному аналізі.

Оскільки точки на графіку нормальної ймовірності залишків лежать переважно вздовж прямої лінії, це означає, що припущення про нормальність розподілу залишків виконується.

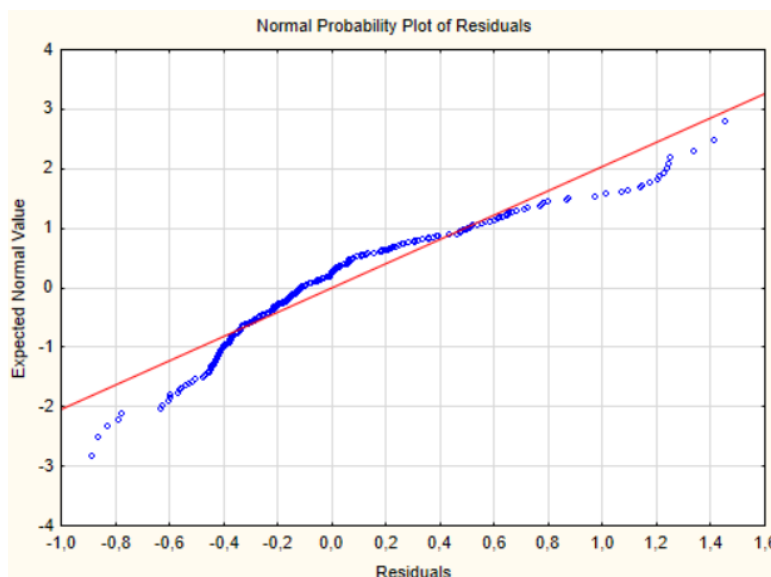


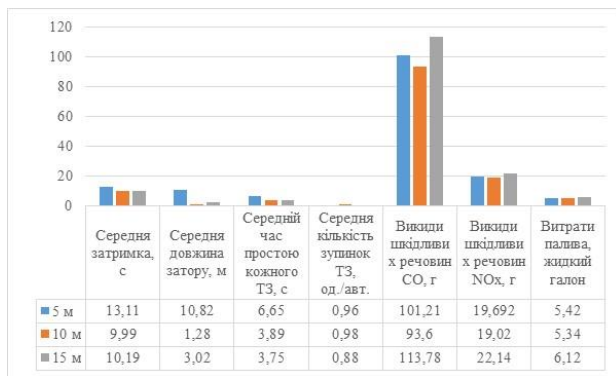
Рисунок 12.7 - Графік нормальної ймовірності залишків

Таким чином, завдяки високим показникам достовірності, розроблена модель може бути ефективно використана для прогнозування та аналізу впливу параметрів ДП на швидкість руху ТЗ на нерегульованому перехресті. Її адекватність дозволяє покластися на отримані результати для обґрунтованого проектування та оптимізації елементів заспокоєння руху.

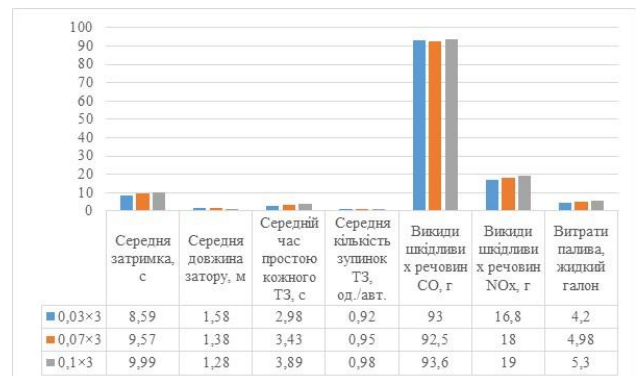
За допомогою програми PTV Vissim було виконано моделювання, в ході якого збиралися та аналізувалися дані щодо функціонування транспортного вузла за різних конфігурацій ДП. Результати моделювання представлені на рис. 12.8.

Аналіз результатів моделювання показав, що оптимальна ефективність функціонування нерегульованого перехрестя досягається при наступних параметрах ДП: відстань від стоп-лінії — 10 м, висота — 0,03 м, довжина — 2 м.

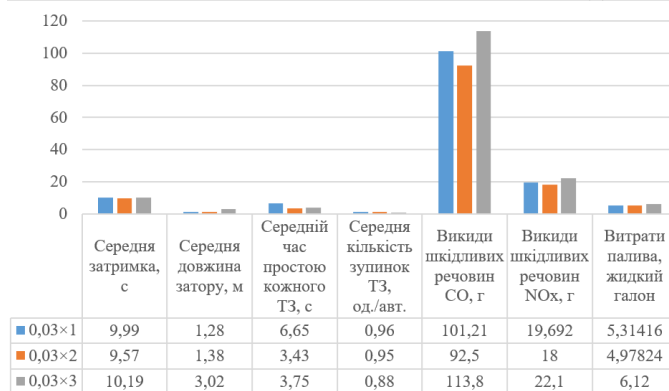
Рис. 12.8 демонструє, що оптимізація параметрів ДП є складним завданням, що вимагає знаходження балансу між досягненням бажаного ефекту уповільнення руху та мінімізацією негативних наслідків для ТП (затримки, зупинок, екологічне навантаження). Графіки чітко підтверджують, що неправильний вибір будь-якого з цих параметрів може призвести до значного погіршення функціонування перехрестя.



відстань від стоп-лінії



висота ДП



довжина ДП

Рисунок 12.8 - Результати моделювання в програмі PTV Vissim

Застосування такого підходу є надзвичайно цінним, оскільки дозволяє наочно та кількісно оцінити вплив ДП на ТП в умовах моделювання. Це особливо важливо для проектувальників і міських інженерів, оскільки дає змогу обґрунтовано приймати рішення щодо геометричних параметрів елементів заспокоєння руху; підвищити безпеку дорожнього руху без істотного зниження пропускну здатності; ефективно адаптувати рішення до специфічних умов конкретних нерегульованих перехресть у містах та населених пунктах. Отримані результати можуть бути використані в транспортному плануванні, проєктуванні міських вулиць, розробці схем організації дорожнього руху та при оцінці ефективності заходів з уповільнення трафіку.

Доведено, що висота ДП є ключовим фактором, що визначає ступінь зниження швидкості ТЗ, з яскраво вираженою нелінійною залежністю, безпосередньо формуючи поведінку водіїв при перетині. Саме висота, через свою пряму кореляцію з фізичним впливом на ТЗ та дискомфортом для водія, змушує водіїв суттєво знижувати швидкість для безпечного та комфортного проїзду.

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.

Робота з підвищенням самосвідомості водіїв та громадян в Україні має обов'язково продовжуватися 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..

Результати дослідження підтверджують доцільність використання дорожніх знаків як дієвого інструменту підвищення ефективності ОДР. Удосконалення їх розміщення та узгодження з іншими елементами транспортної інфраструктури сприяють не лише підвищенню безпеки, а й оптимізації ТП, зменшенню екологічного навантаження та покращенню загальних умов руху. Отримані залежності та висновки можуть бути використані при розробці практичних рекомендацій щодо вдосконалення ОДР на міських перехрестях.

При моделюванні транспортних мереж міст пропонується гнучкий підхід до транспортного районування, який полягає у використанні замість звичайних транспортних районів укрупнених мегарайонів, центри транспортного тяжіння яких визначаються як середньозважені по видах забудови, а межі мегарайонів проходять еквідистантно до основних радіальних магістральних вулиць. Центральна частина міста виділяється в окремий мегарайон. Це дозволяє спростити отримання вихідних даних при побудові імітаційної моделі транспортної мережі міста.

Закон стиснення (формування автомобілів в групу, колону або збільшення напруженості в транспортному потоці на перегоні) можна виразити як

$$N = \frac{L}{C}, N = \frac{1}{C} \int V dt, L = CN, V = CdN / dt,$$

що вказує на накопичення потенційної енергії в потоці. Розмірність напруженості визначимо з рівняння $C = L / N$, км год./авт.

Значний практичний інтерес представляє інверсійна напруженість, що є швидкістю зміни щільності транспортного потоку або інтенсивністю, яка віднесена до довжини дороги.

Назвемо параметр $U = 1 / C$ питомою інтенсивністю транспортного потоку, розмірність якого авт./км год, U описує відношення силової функції (інтенсивності) N до збільшення шляху руху потоку L .

Близька збіжність теоретичної кривої з результатами натурних спостережень дозволяє рекомендувати рівняння потужності трафіку для практичного використання не лише при оцінці завантаженості і стану умов руху на різних ділянках перетинів в різних рівнях вулиць і доріг, але і при прогностичних розрахунках в розробках проектів як критерій завантаженості взагалі шляхів.

Оскільки дорожній потенціал є характеристикою безпечних умов руху, то його оптимальне значення доцільно, як і значення потужності, включити в нормовані величини пропускної здатності міських магістралей.

Для врахування затримок трафіку в межах змін смуг руху на підходах до перетину в різних рівнях пропонуємо використовувати відповідний коефіцієнт затримок α , що наведено в [41], водночас з коефіцієнтами зміни пропускної здатності різних смуг руху.

$$V = N \cdot V_a = NV \left\{ V_2 Q_m (Q_m - Q_1) / V_1 \left[(Q_m - Q_1)^2 + Q_1 Q_m \right] \right\},$$

де вказані швидкість і щільність на сусідніх смугах руху і максимальна щільність при заторі.

Запропонований концептуальний підхід до імплементації аудиту БДР поєднує технічні, економічні, соціальні та екологічні індикатори ефективності, що забезпечує міждисциплінарні технології до оцінки інфраструктурних рішень і формує підґрунтя для сталого розвитку транспортної системи. Інтеграція цілей сталого розвитку (ЦСР 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15 та 17) у процедуру аудиту БДР дозволяє не лише підвищити БДР, а й забезпечити соціальну справедливість, екологічну відповідальність та економічну доцільність. В умовах України, особливо у післявоєнний період, запровадження технологій аудиту БДР є необхідним кроком для мінімізації збитків від ДТП та для забезпечення адаптивності транспортної інфраструктури до нових викликів.

Таким чином можна заключити, що забезпечення безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування і на вулично-дорожній мережі міст має ключові відмінності. Це має враховуватись при вирішенні споріднених задач, починаючи з підготовки кадрового забезпечення дорожньо-транспортної галузі, розвитку комплексу технічних засобів організації руху, впровадження новітніх технологій і систем автоматичного управління.

В результаті аналізу науково-технічної літератури і статистичних даних ДТП встановлено, що ризик ДТП та ймовірність отримання серйозної травми в результаті ДТП зростають при більш високих швидкостях. Одним з методів підвищення безпеки виділяють зниження швидкісних режимів, що знижує рівень ДТП, серйозного травматизму і смертності. Однак, підходи до зниження швидкісних режимів також повинні враховувати вплив швидкості на час повідомлення, яке забезпечує комфорт, екологічність і економічність дорожнього руху (транспортного процесу). З огляду на основні завдання дорожнього руху, мета ефективної транспортної системи полягає в організації руху з мінімальними втратами часу з мінімальними ризиками смертності і травматизму.

Управління функціонуванням мережі автомобільних доріг загального користування з метою забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків у транспортній системі регіону АДДМ-НМТП, що відносяться до мікрорівня аналізу функціонування цієї транспортної системи, може бути

охарактеризована різними кроками, що мають бути зроблені у визначеному порядку. Ці кроки називають «факторами розміщення»:

- встановлення цілей (оцінка існуючого стану функціонування транспортної системи регіону АДДМ-НМТП);
- планування заходів із удосконалення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків у транспортній системі регіону АДДМ-НМТП;
- розробка сценаріїв на формування транспортного попиту та відповідної роботи автомобільних доріг за допомогою матриці сценаріїв;
- прийняття рішення щодо впровадження заходів з удосконалення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків;
- реалізація (впровадження заходів з удосконалення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків у транспортній системі регіону АДДМ-НМТП);
- моніторинг.

Встановлення цілей управління функціонуванням мережі автомобільних доріг як складової економічної системи суспільства, що відносяться до макрорівня показників аналізу функціонування мережі автомобільних доріг:

- визначення критеріїв оптимізації суспільно-економічного розвитку мережі автомобільних доріг, у т. ч., умов безперервності руху, рівнів безпеки та рівнів зручності руху мережею автомобільних доріг загального користування;
- моделювання прогнозування роботи дорожнього господарства;
- визначення принципів пропорційності та збалансованості розвитку мережі автомобільних доріг.

Перша частина цілей пов'язана із функціонуванням мережі автомобільних доріг та роботою її окремих доріг по забезпеченню безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків, друга — з економічною системою суспільства.

Отже, можна констатувати, що усі рішення про дії щодо управління функціонуванням мережі автомобільних доріг загального користування, у тому числі, відносно утримання, ремонтів, реконструкції існуючих доріг, а також будівництва нових доріг, визначення стандартів, якості, фінансових ресурсів або пріоритетах

мають бути зробленими із дотриманням інтересів суспільства, користувачів автомобільних доріг та збереженням на прийнятному рівні стану навколишнього середовища.

Управління функціонуванням мережі автомобільних доріг загального користування з метою забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків у транспортній системі регіону АДМ-НМТП, у тому числі, проведення статистичних досліджень аварійності на дорогах, інтенсивності та складу руху транспортних потоків та розробка відповідних управляючих впливів, доцільно виконувати окремо по категоріях (I, II, III, IV та V) з урахуванням різних за своїм значенням автомобільних доріг: державних (міжнародних; національних; регіональних) та місцевих (територіальних, районних та обласних).

Це пов'язано, зокрема, із практикою нормування виділення коштів на ремонт та утримання цих доріг, що склалася на даний час.

Швидкість вільного руху є важливим індикатором фактичного сприйняття водіями дорожніх умов, оскільки вона формується не лише під впливом установлених обмежень, а й залежить від геометричних параметрів вулиці, кількості смуг, характеру забудови, пішохідної інфраструктури та загального дорожнього середовища.

За результатами експериментальних досліджень на 10 ділянках ВДМ м. Харкова встановлено, що функціональний тип вулиці має значний вплив на швидкість вільного руху легкових автомобілів. На магістральних вулицях середня швидкість становить 75,42 км/год, тоді як на вулицях місцевого значення - 61,94 км/год. Різниця між групами дорівнює 13,48 км/год, що підтверджує вищий рівень швидкісного режиму на магістральних ділянках. Найвищі середні швидкості зафіксовано для ділянок магістральних вулиць, які характеризуються чотирма смугами руху, відсутністю пішохідного руху в зоні вимірювання та умовами, які сприяють розвитку вищих швидкостей.

Середній 85-й процентіль швидкості для магістральних вулиць становив 84,90 км/год, для місцевих - 70,15 км/год. Це також підтверджує суттєвий вплив функціонального типу вулиці на вибір швидкості водіями, оскільки більшість водіїв

на магістральних вулицях рухається зі швидкостями, які суттєво перевищують відповідні показники для місцевих вулиць.

Разом із тим встановлено, що окремі вулиці місцевого значення можуть мати швидкісний режим, близький до магістрального. Це свідчить про те, що формальна категорія вулиці не завжди повністю визначає фактичну поведінку водіїв, а конкретні умови організації руху можуть суттєво впливати на швидкість.

Аналіз форми розподілів показав, що магістральні вулиці мають більше зміщення в бік високих швидкостей і в окремих випадках характеризуються наявністю викидів та екстремальних значень. Для місцевих вулиць розподіли переважно є компактнішими, однак на окремих ділянках також фіксуються високі швидкості, що може створювати додаткові ризики для безпеки дорожнього руху.

Отримані результати підтверджують необхідність урахування функціонального призначення вулиці, геометричних параметрів, пішохідного середовища та засобів ОДР під час оцінювання швидкісного режиму. Для вулиць місцевого значення особливо важливим є впровадження заходів, які забезпечують відповідність фактичних швидкостей їхній локальній функції та підвищують безпеку дорожнього руху.

Таким чином, впровадження оновленого ДСТУ 4092:2024 має системний характер і зумовлює значні позитивні зрушення у трьох ключових секторах.

1. Безпекові наслідки (Принципи Vision Zero):

- мінімізація людського фактора: чітке розмежування та маркування додаткових секцій (особливо для велосипедного руху) ліквідує плутанину та унеможливорює невірне трактування сигналів водіями інших транспортних засобів;

- захист вразливих учасників руху: впровадження активних дорожніх вставок під ногами пішоходів створює додатковий превентивний бар'єр для неуважних громадян та молоді з гаджетами, суттєво знижуючи ризик наїздів;

- безпечний реверс: жорсткі вимоги до автоматизації реверсивного руху повністю виключають ризик виникнення лобових зіткнень через некоректну зміну напрямку смуг;

- оптимізація видимості: дозвіл на розворот світлофорів до 30° гарантує безперешкодне зчитування сигналів у складних геометричних умовах перехресть.

2. Економічні наслідки:

- раціоналізація капітальних витрат: застосування комбінованих велопішохідних світлофорів (Тип 2) замість проектування окремих пішохідних та велосипедних комплексів дозволяє міським бюджетам економити кошти на закупівлі обладнання, опор, кабельної продукції та монтажних роботах;

- зниження експлуатаційних витрат: зменшення загальної кількості фізичних світлофорних одиниць на перехрестях пропорційно знижує витрати на їх подальше технічне обслуговування, ремонт та енергоспоживання;

- ефективне використання наявної мережі: розширення можливостей реверсивного руху дозволяє збільшувати пропускну здатність магістралей у години пік без залучення колосальних капіталовкладень у фізичне розширення або будівництво нових смуг доріг.

3. Соціальні наслідки:

- розвиток сталої мобільності: легалізація та чітке регулювання велосипедних фаз стимулює громадян частіше обирати екологічний транспорт (велосипеди, самокати), зменшуючи навантаження на громадський транспорт та рівень заторів;

- підвищення безбар'єрності та комфорту: уніфікація застосування ТЗОЧ для пішоходів та велосипедистів створює прогнозоване, комфортне та психологічно спокійне міське середовище, де кожен учасник чітко розуміє часові межі свого маневру.

Доведено, що висота дорожніх пагорбів є ключовим фактором, що визначає ступінь зниження швидкості ТЗ, з яскраво вираженою нелінійною залежністю, безпосередньо формуючи поведінку водіїв при перетині. Саме висота, через свою пряму кореляцію з фізичним впливом на ТЗ та дискомфортом для водія, змушує водіїв суттєво знижувати швидкість для безпечного та комфортного проїзду.

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>.
3. Савченко А. Вчасні методи збільшення пасивної безпеки автомобіля. Автобудування за кордоном. 2007, №11. С.13–15.
4. Мигаль В.Д. Технічна безпека автомобілів : справ. посібник. Х.: Майдан, 2011. 202 с.
5. Evans L. Safety belt effectiveness: the influence of crash severity and selective recruitment. Accident Analysis and Prevention, 1996, 28:423–433.
6. Ремінь безпеки [Електронний ресурс] Вікіпедія. Вільна енциклопедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ремінь_безпеки.
7. Про Правила дорожнього руху: постанова Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306 / Офіційний вісник України від 26.10.2001–2001 р., № 41.
8. 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>.
9. КАМПАНІЯ “ЗА БЕЗПЕЧНІ ДОРОГИ” – (<https://cedem.org.ua/direction-gromadyanske-suspilstvo/kampaniya-za-bezpechni-dorogy>)
10. Barbara Metz, Hans-Peter Krüger, Do supplementary signs distract the driver? Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 23, 2014. P. 1-14, ISSN 1369-8478, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.12.012>
11. Šarić, Ž., Xu, X., Duan, L., & Babić, D. (2018). Identifying the safety factors over traffic signs in state roads using a panel quantile regression approach. Traffic Injury Prevention, 19(6), 607–614. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1476688>

12. Xu X, Šarić Ž, Zhu F, Babić D. Accident severity levels and traffic signs interactions in state roads: a seemingly unrelated regression model in unbalanced panel data approach. *Accid Anal Prev.* 2018 Nov;120:122-129. doi: 10.1016/j.aap.2018.07.037
13. Peter Thurston, Chief Executive Officer Roadmarking Industry Association of Australia. Pavement Markings Role in Enhancing Road Safety Strategies. November, 09. 12 p. URL: [https://www.acrs.org.au/files/papers/24 %20Thurston%20Pavement%20 markings.pdf](https://www.acrs.org.au/files/papers/24%20Thurston%20Pavement%20markings.pdf)
14. WOUNBA Jean Francois, TOKAM TINGANG Ulrich Cabrel, BWEMBA Charles, NKENG George ELAMBO. The impact of road signs on road traffic accidents: case of Yaounde, Cameroon. *International Journal of Applied Science and Research. IJASR* 2021, VOLUME 4, ISSUE 2 MARCH – APRIL. ISSN: 2581-7876.
15. Oscar Oviedo-Trespalacios, Verity Truelove, Barry Watsona, Jane A. Hinton. The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety: A critical systematic review. *Transportation Research Part A* 122. 2019. Pp. 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.01.012>
16. Jodi Carson, Fred Mannering. The effect of ice warning signs on ice-accident frequencies and severities, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 33, Issue 1, 2001, P. 99-109. ISSN 0001-4575, [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00020-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00020-8).
17. Tekeş, B., Solmazer, G. ve Alkan, H. N. (2021). The relationship between traffic sign comprehension and risky traffic behaviors. *Nesne*, 9(22), 755-769. DOI: 10.7816/nesne-09-22-01
18. Adel S. Abdul Jabbar, Syed Abid A. Naqvi. Study of Road Signs in Saudi Arabia, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, Volume 5, Issue 2, 1993. P. 303-311, ISSN 1018-3639, [https://doi.org/10.1016/S1018-3639\(18\)30586-5](https://doi.org/10.1016/S1018-3639(18)30586-5).
19. Matin Giahi Foomani. Assessing the Impact of Active Signage Systems on Driving Behavior and Traffic Safety Concordia University, 2022. 225 p. URL: https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/990857/7/Foomani_PhD_F2022.pdf
20. Yannis, G., Kondyli, A., & Georgopoulou, X. (2013). Investigation of the impact of low cost traffic engineering measures on road safety in urban areas. *International*

- Journal of Injury Control and Safety Promotion, 21(2), 181–189.
<https://doi.org/10.1080/17457300.2013.796387>
21. Shyrle Berrio, Lope H. Barrero. Characterization of the state of the traffic signs focused on cyclists in Bogotá. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Volume 20, 2023, 100837. ISSN 2590-1982, <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100837>.
 22. Rista, E., & Fitzpatrick, K. (2020). Comparison of LED-Embedded Pedestrian Crossing Signs with Rectangular Rapid Flashing Beacons and Pedestrian Hybrid Beacons. *Transportation Research Record*, 2674(11), 856-866. <https://doi.org/10.1177/0361198120941849> (Original work published 2020)
 23. Hashim Al-Madani. Influence of drivers' comprehension of posted signs on their safety related characteristics, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 32, Issue 4, 2000. P. 575-581. ISSN 0001-4575, [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(99\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00084-6)
 24. Babić, D., Babić, D., Fiolić, M., Ružić, M. (2021). Effect of Different Stop Sign Configurations on Driving Speed When Approaching a Rural Intersection at Night-Time. In: Petrović, M., Novačko, L. (eds) *Transformation of Transportation*. EcoProduction. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66464-0_1
 25. Hu L, Feng D, Li Y, Xu J, Zheng J. The Effect of Safety Signs on the Monitoring of Conflict and Erroneous Response. *Front Psychol*. 2022 Feb 17;13:830929. doi: 10.3389/fpsyg.2022.830929.
 26. Ferko M, Stažnik A, Modrić M, Dijanić H. The Impact of Traffic Sign Quality on the Frequency of Traffic Accidents. *Promet* [Internet]. 2019, Oct.25 [cited 2025Mar.27]; 31(5):549-58. Available from: <https://traffic.fpz.hr/index.php/PROMTT/article/view/3023>
 27. Дорожній знак, через який приходять великі штрафи: про що мають знати водії. U-NEWS: веб-сайт. URL: <https://u-news.com.ua/186130-dorozhnii-znak-cherez-iakyi-prykhodiat-velyki-shtrafy-pro-shcho-maut-znaty-vodii.html> (дата звернення 15.03.2025).

- Проїзд перехресть. GREEN-WAY: веб-сайт. URL: https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pdr/rozdil-16?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 15.03.2025).
- 28.Поліщук В. П. Транспортне планування міст. К. : Знання України, 2014 . 371 с.
 - 29.Безлюбченко О. С., Гордієнко С. М., О. Завальний О. В. Планування міст і транспорт. Харків : ХНАМГ, 2008. 156 с.
 - 30.ДБН Б.2.2-12:2018. Планування і забудова територій. Чинний від 01.09.2019. Київ : Мінрегіон України, 2018. 175 с.
 - 31.Гецович Є. М. Задача делімітації центральної ділової частини мегаполіса./ Є. М. Гецович, М. О. Казакова, О. О. Холодова // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: сб. наук. пр./ М-во освіти і науки України; ред.кол.: В. О. Богомолів (гол. ред.) та ін. – Вип. 45. Харків: «Видавництво ХНАДУ», 2009. – С. 52-54.
 32. Drew D. Traffic flow theory and control. New York : McGraw-Hill, 1968. – 467 p.
 - 33.Рейцен Е.А., Каддах Х. Моделювання транспортних потоків в містах // Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний вісник.-2000.-№1(6.)-С.41-46.
 - 34.Засядько Д. В. «Розрахунок транспортних потоків, що йдуть транзитом через центральну ділову частину міста»/ Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту» №1 2009 р., стор 97-102.
 35. Martin, Brian V., Traffic system analysis. New York : McGraw-Hill, 1997. – 516 p.
 - 36.Кашканов, А. А. Організація дорожнього руху : навчальний посібник / А. А. Кашканов, В. П. Кужель. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 125 с.
 - 37.Холодова О.О. Формування систем перехоплюючих паркінгів у великих містах / О.О. Холодова, О.С. Левченко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля / Науковий журнал. - Сєверодонецьк, 2019. – №3 (251). - С. 205-211.
 - 38.Богданов, О. І. & Роман, С. В. & Кизим, С. С. *Дослідження процесу розподілу руху по смугах багатосмугових міських магістралей*. Київ: КНУБА. 2006. С. 21–30.

- 39.Белятинський, А. О. & Першаков, В. М. & Степанчук, О. В. & Кротов, Р. В. *Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху*. Київ: Національний авіаційний університет. 2015. 176 с.
- 40.Гук, В. І. & Шкодовський, Ю. М. *Транспортні потоки: теорія та їх застосування в урбаністиці*. Харків: Золоті сторінки, 2009. 232 р.
- 41.Запорожцева, О. В. *Удосконалення принципів визначення пропускної спроможності багатосмугових автомагістралей*: PhD thesis. Харків: ХНАДУ. 2016. 23 р. [In Ukrainian: Zaporozhtseva, O. V. *Improvement of principles for determining the capacity of multi-lane highways. PhD thesis. Kharkiv. KhNADU. 2016. 23 p.*]
- 42.Пальчик, А. М. *Транспортні потоки*. Київ: НТУ. 2010. 171 р. [In Ukrainian: Palchyk, A. M. *Traffic flows. Kyiv: NTU. 2010. 171 p.*]
- 43.Поліщук, В. П., Дзюба, О. П. *Теорія транспортних потоків. Методи та моделі організації дорожнього руху*. Київ: НТУ. 2008. 120 р. [In Ukrainian: Polishchuk, V. P., Dziuba, O. P. *Theory of traffic flows. Methods and models of traffic management. Kyiv: NTU. 2008. 120 p.*]
- 44.Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2000. Washington, D.C.: National Research Council, 2000. 1134 р.
- 45.Форнальчик, Є. Ю., Могила, І. А., Трушевський, В. Е., Гілевич, В. В. *Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах*. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2018. 236 с.
- 46.Форнальчик, Є. Ю., Гілевич, В. В., Могила, І. А. *Моделювання транспортних потоків* [Електронний ресурс]. Львів: *Львівська політехніка*, 2020. – 216 с. Available at: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4244>]
- 47.Nagalur Subraveti, H.H.S., Knoop, V.L., van Arem, B. Multi-lane Traffic Flow Model: Speed Versus Density Difference as Lane Change Incentive and Effect of Lateral Flow Transfer on Traffic Flow Variables. In: *Proceedings of the International Conference "Traffic and Granular Flow 2019"*. Eds. Zuriguel, I., Garcimartin, A., Cruz, R. Cham: Springer, 2020. Springer Proceedings in Physics, Vol. 252. P. 509–517. DOI: 10.1007/978-3-030-55973-1_67.

48. Seraj, M., Bie, Y., Qiu, T.Z. A macroscopic lane-changing model for freeway considering different incentives and traffic states. In: *Proceedings of the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2017. p. 17.
49. Zefreh, M.M., Török, A. Distribution of traffic speed in different traffic conditions: an empirical study in Budapest. In: *Proceedings of the International Conference on Traffic and Transport Engineering*. Belgrade: City Net Scientific Research Center, 2018. P. 68–86.
50. Road traffic injuries. World Health Organization. URL : https://www.who.int/health-topics/road-safety#tab=tab_1 (last accessed: 15.05.2025).
51. Chen, S., Kuhn, M., Prettnner, K. & Bloom, D. E. The global macroeconomic burden of road injuries: estimates and projections for 166 countries. *The Lancet Planetary Health*, Volume 3, Issue 9, e390 - e398. URL : <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2542-5196%2819%2930170-6> (last accessed: 15.05.2025).
52. The Global Goals. URL : <https://www.globalgoals.org/> (last accessed: 21.05.2025).
53. Державна служба статистики України. 17 цілей, щоб змінити наш світ. URL : <https://sdg.ukrstat.gov.ua/uk/> (дата звернення: 19.05.2025).
54. Global status report on road safety 2023. Geneva: World Health Organization; 2023. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. URL : <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf?sequence=1> (last accessed: 21.05.2025).
55. iRAP Safety Insights Explorer. London: iRAP, 2021. URL : <https://irap.org/safety-insightsexplorer> (last accessed: 21.05.2025).
56. AlHamad, S., Almallah, M., Naser, M. N., Alhajyaseen, W. K. M., & de Roos, M. P. (2022). Examining the role of road safety audits worldwide: exploring road safety expert's opinions. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 30(1), 106–115. <https://doi.org/10.1080/17457300.2022.2114090> (last accessed: 20.05.2025).

57. A Comparative Review of Road Safety Audit Guidelines of Selected Countries. (2013). *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 65(3). <https://doi.org/10.11113/jt.v65.2148> (last accessed: 15.05.2025).
58. Savchenko, L., Boichenko, M. & Galkin, A. Estimation of traffic accident costs for last-mile logistics in Kyiv. *13th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*. Liverpool, United Kingdom, 2020, pp. 347-351, DOI : 10.1109/DeSE51703.2020.9450777.
59. Кашканова А. А., Біліченко В. В. Проблемні питання науково-методичного забезпечення аудиту безпеки дорожнього руху. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. №2 (23). С. 97-108. DOI :10.36910/automash.v2i23.1531.
60. Batyrgareieva, V., Kolodyazhny, M. & Netesa, N. (2023). War As A Challenge To Road Safety: Damage To Society And The Economy Of Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*. Publishing house «Baltija Publishing», Vol. 9(5). 48-56. DOI : 10.30525/2256-0742/2023-9-5-48-56.
61. Практичний посібник для аудиторів та інспекторів безпеки автомобільних доріг. World Bank Global road safety facility, Bloomberg Philanthropies, Українська асоціація аудиторів безпеки автомобільних доріг. 2022. Спеціальне видання адаптоване до умов безпеки автомобільних доріг в Україні. URL : https://www.roadsafetyfacility.org/ai_file_subscribe/file/721 . (дата звернення: 10.05.2025).
62. Абрамова Л. С., Наглюк І. С., Ширін В. В., Птиця Г. Г., Капінус С. В. Аудит безпеки дорожнього руху : підручник. Під заг. ред І. С. Наглюка. Харків : ХНАДУ, 2016. 260 с.
63. Абрамова Л. С., Наглюк І. С., Ширін В. В., Птиця Г. Г., Капінус С. В., Левченко О. С., Харченко Т. В. Практикум з проведення аудиту безпеки дорожнього руху : навч. посіб. Харків : ХНАДУ. 2019. 140 с.
64. Деділова Т. В., Пушкарьова Н. А., Кабанець М. С. Аналіз взаємодії України та ЄС за проектом TRASECA у сфері безпеки дорожнього руху. *Глобальні та національні проблеми економіки*. Випуск 13. 2016. С. 62-67.

- 65.ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Зі Зміною №1. [Чинний від 2022-09-01]. Київ: ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), 2018. 61 с.
- 66.ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій [Чинний від 26.04.2019]. Київ: ДП «Український державний науково-дослідний інститут проектування міст «Діпромісто» імені Ю.М. Білоконя», 2019. 183 с.
- 67.ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво [Чинний від 01.04.2016]. Київ: ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), 2019. 91 с.
- 68.Rune Elvik, Anne Borger Mysen, Truls Vaa. Trafikksikkerhetshåndbok: oversikt over virkninger, kostnader og offentlige ansvarsforhold for 124 trafikksikkerhetstiltak. – Transportøkonomisk Institutt TØI., 1997. – 704 p.
- 69.Haddon W Jr. Energy damage and the ten countermeasure strategies. The Journal of Trauma, 1973, 13 (No.4) 321–331.
- 70.Christoffel T, Gallagher S. Injury Prevention and Public Health: Practical Knowledge, Skills, and Strategies, 2nd edition, 2006.
- 71.Seat-belt campaign toolkit. London, FIA Foundation, 2004.
- 72.OECD/ECMT Transport Research Centre: Speed Management report, Paris 2006 (available in English and French).
- 73.Mackay GM. Reducing car crash injuries, folklore, science and promise. American Association for Automotive Medicine, 1983, No.5.
- 74.Evans L. Traffic Safety and the Driver, USA, Van Nostrand Reinhold, 1991.
- 75.Taylor MC et al. The effects of drivers` speed on the frequency of road accidents. Crowthorne, Berkshire, UK TRL Report No. 421. Transport Research Laboratory (TRL), 2000.
- 76.Elvik R, Vaa T. The handbook of road safety measures. 2004, Amsterdam, Elsevier.
- 77.Aarts L, van Schagen I. Driving speed and the risk of road crashes: A review. Accident, Analysis and Prevention, 2006, 38:215–224.

78. Nilsson G. Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety. Bulletin 221, Sweden, Lund Institute of Technology, Lund University, 2004.
79. Статистика ДТП в Україні. Патрульна поліція: веб-сайт. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 25.11.2025).
80. Вулиці та дороги населених пунктів. Зі зміною № 1: ДБН В.2.3-5:2018. Чинний від 01.09.2022. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 65 с.
81. Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування. Зі зміною № 1: ГБН В.2.3-37641918-555:2016. Чинний від 01.07.2016. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2022. 64 с.
82. Осетрін М.М., Карпенко О.В. Принципи і методи обґрунтування вибору інженерно-планувального рішення перетину міських магістралей. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. № 51. С. 401–407.
83. Зінов'єва О.Г., Гешева Г.В. Огляд програмних засобів імітаційного модулювання. *ВІСНИК ХНТУ*. 2022. № 3(82). С. 47-52.
84. Любий Є.В., Капінус С.В., Белецька О.М. Імітаційне моделювання руху транспортних засобів під час виїзду з прилеглих територій на магістральні вулиці. *Вісник ХНАДУ*. 2023. 100, С. 136-144. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.136>.
85. PTV VISSIM. User Manual. User Guide Search Engine. Офіційний сайт Manuals+ : веб-сайт. URL: <http://surl.li/frqbf> (дата звернення 13.02.2026).
86. Закон України від 08.09.2005 р. №2862-IV «Про автомобільні дороги». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2862-15>.
87. Закон України від 10.11.1994 р. №232/94-ВР «Про транспорт». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/232/94-вр>.
88. Закон України від 30.06.1993 р. №3353-XII «Про дорожній рух». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3353-12>.

89. Закон України від 05.04.2001 р. №2344-III «Про автомобільний транспорт». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2344-14>.
90. Закон України від 8.09.1991 р. №1562-XII «Про джерела фінансування дорожнього господарства України». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1562-12>.
91. 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.
92. Макконнелл К. Р. Экономика: принципы, проблемы и политика / [Макконнелл К. Р., Брю С. Л.] ; [Пер. с англ. 11-го изд.] – К. : ХаГар, 1998. – 785 с.
93. Демішкан В. Ф. Про джерела фінансування дорожнього господарства України в ринкових умовах / Демішкан В. Ф., Прусенко Є. Д. // Матеріали міжнародної наукової конференції «Автомобільний транспорт і дорожнє господарство на рубежі 3-го тисячеліття». – Харків : ХГАДТУ, 2000. – С. 5-7.
94. Прусенко, Є. Д. Аналіз економічних збитків держави через недостатнє фінансування дорожньої галузі / Прусенко Є. Д., Філіппов В. В. // Автошляховик України. – 1998. № 4. С. 32-37.
95. Постанова Кабінету Міністрів України від 9.11.2000 р. №1684 «Про затвердження Концепції реформування транспортного сектору економіки». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1684-2000-п>.
96. Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners. 2nd ed. Geneva : World Health Organization, 2023. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/speed-management-a-road-safety-manual-for-decision-makers-and-practitioners>
97. Global Street Design Guide / Global Designing Cities Initiative, National Association of City Transportation Officials. Washington, DC: Island Press, 2016. 424 p.
98. Chen Z, Guo F, Luo L. Vehicle speed measurement technologies in Intelligent Transportation Systems: current status, challenges and future directions. *Artif. Intell. Auton. Syst.* 2024(2):0004, <https://doi.org/10.55092/aias20240004>.

99. Riabushenko O., Sierpiński G., Bogomolov V., Nahliuk I., Leontiev D. Study of Distribution of Free Flow Speeds on Urban Road Sections Depending on Their Functional Purpose and One-Way Traffic - Evidence from Kharkiv (Ukraine). *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 23. Article 11302. DOI: 10.3390/app142311302.
100. Raccagni S., Ventura R., Barabino B. Impact of Urban Road Characteristics on Vehicle Speed: Insights from Brescia, Italy. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 20. Article e39459. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e39459.
101. Stepanović N., Tubić V., Zdravković S. Determining Free-Flow Speed on Different Classes of Rural Two-Lane Highways. *Promet – Traffic&Transportation*. 2023. Vol. 35, No. 3. P. 315–330. DOI: 10.7307/ptt.v35i3.195.
102. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ: Мінрегіон України, 2018. 61 с.
103. ДСТУ 4092:2024 «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні умови».
104. ДСТУ 4092:2002 «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки».
105. ДСТУ EN 12368:2017 «Устаткування для регулювання дорожнього руху. Світлофори».
106. На столичних світлофорах впроваджують нові кнопки виклику зеленого світла для пішоходів із порушеннями зору. URL: https://kyivcity.gov.ua/news/na_stolichnikh_svitloforakh_vprovadzhuyut_novi_knopki_vikliku_zelenogo_svitla_dlya_pishokhodiv_iz_porushennyami_zoru/.
107. Kiran, K. R., Molugaram, K. and Sandeep, M. (2020) Analysis of Speed Profiles at Speed Hump under Various Dimensions & Simulating their LOS Using VISSIM, *Transportation Research Procedia*, 48, pp. 1200–1210. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.143>
108. H. Faheem (2012) Suitability of existing traffic calming measures for use on some highways in Egypt 9th International Conference on Civil and Architecture Engineering (ICCAE-9), Cairo, 9(9):1-13. DOI: 10.21608/iccae.2012.44388

109. U. Engel, L.K. Thomsen (1992) Safety effects of speed reducing measures in Danish residential areas *Accident Analysis & Prevention*, 24 (1), pp. 17-28.
[https://doi.org/10.1016/0001-4575\(92\)90068-T](https://doi.org/10.1016/0001-4575(92)90068-T)
110. B. Antic, D. Pešić, M. Vujanic, et al. (2013) The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed–Belgrade experience *Safety Science*, 57, pp. 303-312. DOI: /10.1016/j.ssci.2013.03.008
111. H. Mahdy (2012) Speed calming using vertical deflections in road alignment 12th International Conference on Transportation Professionals, Beijing, 9(9):1-10. DOI: 10.1061/9780784412442.212
112. Al-Omari, G.R. (2002) Al-Massaeid Effect of speed humps on traffic delay in Jordan *Road and Transport Research*, 11 (4):9-55.
<https://www.researchgate.net/publication/299254332>
113. I.H. Hashim, R.M. Hassouna, F.F Asal (2012) Using GPS to assess the impact of speed humps on traffic delay in Egypt. *Civil Engineering Research Magazine (CERM)*, 34 (1), pp. 230-239.
114. N. Rosli, A. Kadar Hamsa (2013) Evaluating the effects of road hump on traffic volume and noise level at Taman Keramat residential area, Kuala Lumpur *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, pp. 1171-1188. DOI: 10.11175/easts.10.1171
115. Kiran, K. R., Kumar, M. and Abhinay, B. (2020) Critical Analysis of Speed Hump and Speed Bump and Geometric Design of Curved Speed Hump', *Transportation Research Procedia*, 48, pp. 1211– 1226. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.08.144
116. N A Mustafa , Kadar Hamsa , A Evaluating the Effects of Road Hump on Speed and Noise Level at a University Setting *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* Posted: 2019
117. Rosli, N.S. and Kadar Hamsa, A.A. (2013) Evaluating the Effects of Road Hump on Traffic Volume and Noise Level at Taman Keramat Residential Area, Kuala Lumpur. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, 1171-1188. <https://doi.org/10.11175/easts.10.1171>

118. Arthanayake, C. and Wickramasinghe, V. (2020) 'Effects of speed humps on driver behaviour'. Chimba, D. and Mbuya, C. (2019) 'Simulating The Impact of Traffic Calming Strategies final report', TRCLC 17-10, Transportation Research Center Reports. 42. Available at: <https://scholarworks.wmich.edu/transportation-reports/42>.
119. Gupta, A. (2014) 'Study on Speed Profile Across Speed Bumps', Doctoral dissertation, National Institute of Technology Rourkela, pp. 1–43. <http://ethesis.nitrkl.ac.in/5881/1/e-74.pdf>
120. Antić, B. et al. (2013) 'The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed - Belgrade experience', *Safety Science*, 57, pp. 303–312. doi: 10.1016/j.ssci.2013.03.008.
121. Teja, T. and Jyothi, M. (2017) 'Speed Profile Analysis at Speed Breakers on An Urban Road', *imanager's Journal on Civil Engineering*, 7(1):25. DOI: 10.26634/jce.7.1.10370.
122. Chimba, Deo and Mbuya, Christian, "Simulating the Impact of Traffic Calming Strategies" (2019). *Transportation Research Center Reports*. 42. <https://scholarworks.wmich.edu/transportation-reports/42>
123. Gamlath, K.G. Dilanka and Amarasingha, Niranga and Wickramasinghe, Vasantha SK, Evaluating the Effectiveness of Speed Humps Related to Speed Profile and Noise Profile (March 1, 2023). *JAET Volume 01 Issue 02, March 2023* , <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4418166>
124. Nair, P. M., Bindhu, B. K. and Elangovan, T. (2013) Impact analysis of speed restriction measures using VISSIM 5.40, 2(1), pp. 303–310. Режим доступа: https://www.ijirset.com/upload/2013/special/environmental/41_ИМПАСТ.pdf
125. ДСТУ 4123:2020. Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2020-08-06]. ДП «УкрНДНЦ», 2020. 43 с. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90493