

Девіз-шифр роботи: МОДЕЛЮВАННЯ VISSIM

Назва галузі науки: автомобільний транспорт. Перевезення пасажирів і вантажів та безпека на автомобільному транспорті

АНОТАЦІЯ

Актуальність роботи. В сучасних умовах для пошуку ефективних стратегій управління транспортними потоками в мегаполісі, оптимальних рішень з проектування вулично-дорожньої мережі та організації дорожнього руху необхідно враховувати широкий спектр характеристик транспортного потоку та закономірності впливу зовнішніх і внутрішніх факторів. Одним із найефективніших методів обґрунтування проектних рішень щодо вдосконалення організації дорожнього руху у великих містах є використання сучасних пакетів транспортного імітаційного моделювання.

Метою роботи є підвищення рівня безпеки та організації дорожнього руху елементів вулично-дорожньої мережі м. Дніпро.

Об'єкт дослідження: елементи вулично-дорожньої мережі м. Дніпро.

Предметом дослідження є: вплив результатів імітаційного моделювання на ступінь обґрунтування проектних рішень, щодо підвищення ефективності та безпеки при організації дорожнього руху у м. Дніпро.

Методи дослідження: розрахунково-аналітичні, натурних спостережень та імітаційного моделювання із використанням PTV VISSIM та AnyLogic.

Для досягнення поставленої мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

1. Виконати аналіз структури вулично-дорожньої мережі та її елементів, а також заходів щодо підвищення ефективності організації дорожнього руху.
2. Обґрунтувати вибір елементів ВДМ м. Дніпро для подальшого дослідження.
3. Розглянути доцільність застосування до них наступних заходів ОДР: влаштування кільцевого перетину, встановлення світлофорного регулювання та відмову від влаштування паркування у крайній правій смузї руху.
4. Розробити імітаційні моделі у середовищі PTV Vissim та AnyLogic для обраних об'єктів та надати кількісну оцінку за результатами моделювання.
5. Запровадити структуру комплексного показника ефективності організації дорожнього руху для оцінки запропонованих заходів.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, VISSIM, ОРГАНІЗАЦІЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ, СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ У СЕРЕДНІХ ТА ВЕЛИКИХ МІСТАХ.....	5
1.1 Аналіз структури вулично-дорожньої мережі та її елементів.....	5
1.2 Обґрунтування актуальності дослідження задачі підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі.....	8
1.3. Умови та технічні засоби організації дорожнього руху.....	11
1.4 Висновки по розділу.....	12
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	13
2.1 Аналіз заходів щодо підвищення ефективності ОДР.....	13
2.2. Оцінка ефективності заходів з організації дорожнього руху.....	14
2.3. Вибір об'єктів дослідження на ВДМ м. Дніпро.....	16
2.4 Аналіз можливостей та області застосування сучасних програмних продуктів з імітаційного моделювання дорожнього руху.....	17
2.5 Висновки по розділу.....	20
3 МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ М. ДНІПРО.....	21
3.1 Обґрунтування доцільності влаштування кільцевого пересічення на перетині вулиць Павлова та Набережна Заводська.....	21
3.2 Обґрунтування доцільності влаштування світлофорного регулювання на пересіченні вулиці Набережна Заводська та з'їзду з Кайдакського моста.....	24
3.3 Обґрунтування неефективності влаштування паркування на крайній правій смузі руху.....	26
3.4 Визначення вагових коефіцієнтів показників, які були обрані для оцінки ефективності заходів з організації дорожнього руху.....	27
3.5 Висновки по розділу.....	28
ВИСНОВКИ.....	29
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	30
Додаток А.....	31
Додаток Б.....	46
Додаток В.....	54

ВСТУП

Удосконалення умов руху автомобільного транспорту в сучасних містах вимагає застосування цілого комплексу архітектурно-планувальних і технічних заходів. У той час як реалізація дорожніх та архітектурно-планувальних заходів вимагає, окрім значних капіталовкладень, досить тривалого періоду часу реалізації, заходи організації дорожнього руху (ОДР) можуть забезпечувати швидкий ефект, а в ряді випадків виступають у ролі єдиного засобу вирішення транспортних проблем сучасного міста. Значне зростання кількості індивідуального транспорту (яке спостерігається останнім часом) і обсягів перевезень призводить до підвищення інтенсивності руху та створює додаткове навантаження на основні елементи вулично-дорожньої мережі (ВДМ), більшість з яких побудовані ще в середині минулого століття. Внаслідок цього виникають черги і затори, збільшуються транспортні затримки, що призводить до зниження швидкості сполучення, невиправданих перевитрат палива і підвищення зносу вузлів і агрегатів транспортних засобів [1].

Одним із головних критеріїв ефективності функціонування ВДМ є забезпечення безконфліктного існування всіх учасників дорожнього руху в обмеженому просторі. Питання безпеки дорожнього руху є особливо актуальним для України, оскільки, за даними офіційної статистики, на дорогах країни кожні 18 хвилин трапляється ДТП, а через кожні 117 хвилин у аваріях гине людина. Високе зниження пропускної здатності і безпеки руху найчастіше виникає в зоні перехресть, особливо на ділянках злиття і переплетення транспортних потоків, де відбувається зміна напрямку руху. Світлофорне регулювання на перехресті, як метод організації дорожнього руху, заснований на маршрутному поділі потоків у часі, вже давно не є гарантом безпеки дорожнього руху і не забезпечує необхідну пропускну здатність. У зв'язку з цим виникає гостра необхідність у перегляді діючих підходів до проектування вулично-дорожньої мережі, підтримці впровадження інтелектуальних систем транспортного моделювання та інших сучасних методів планування дорожнього руху [2].

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ У СЕРЕДНІХ ТА ВЕЛИКИХ МІСТАХ

1.1 Аналіз структури вулично-дорожньої мережі та її елементів

Вулично-дорожня мережа призначена для руху транспортних засобів і пішоходів. До її складу входить мережа вулиць, доріг загального користування, внутрішньоквартальних та інших проїздів, тротуарів, пішохідних і велосипедних доріжок, а також набережні, майдани, площі, вуличні автомобільні стоянки з інженерними та допоміжними спорудами, технічними засобами організації дорожнього руху [3].

Конфігурація вулично-дорожньої мережі визначає планувальну структуру міста. Вона залежить від історичних особливостей міста, рельєфу місцевості, наявності водних потоків тощо. Основними схемами вулично-дорожньої мережі є: *радіальна, радіально-кільцева, прямокутна, прямокутно-діагональна, трикутна, гексагональна, комбінована та довільна*. В таблиці А.1 представлені схеми ВДМ, де 1...6 – магістральні вулиці.

Радіальна схема зустрічається в невеликих містах (населення до 100 000 осіб). Будівництво таких міст велося вздовж вулиць, які перетиналися в центрі міста. При такій схемі зв'язок між периферійними районами ускладнений, тому виникає перевантаження центру. Дана схема використовується лише в малих містах, які характеризуються низькою щільністю транспортних потоків.

Радіально-кільцева схема і більш удосконаленою версією радіальної схеми та має кільцеві магістралі, що в свою чергу, забезпечують зв'язок периферійних районів, не чіпаючи центр. Їх кількість залежить від розмірів міста, що даю змогу використовувати її для більш значних за розмірами міст. Кільцеві магістралі – це насамперед, розподільні магістралі, що з'єднують радіальні і забезпечують перевезення транспортних потоків з однієї радіальної магістралі на іншу. Вони служать також для транспортного зв'язку між окремими районами, розташованими в одному поясі міста. До радіально-кільцевих можна віднести схеми таких міст України, як Львів, Івано-Франківськ та Чернівці.

Прямокутна схема характерна для більш сучасних міст, що розвивалися за заздалегідь складеним планом, та є системою перпендикулярних і паралельних вулиць. Серед переваг такої схеми: зручність і полегшеність орієнтування в процесі руху, простота, можливість розосередженості транспорту, висока пропускна здатність мережі та відсутність перевантаження центральної частини міста. Суттєвим недоліком є високе значення коефіцієнту непрямолінійності – 1,25-1,29 і значна віддаленість периферійних районів від центру та один від одного.

Прямокутно-діагональна схема зв'язує найвіддаленіші пункти міста за найкоротшими напрямками. Яскравим прикладом цієї схеми є місто Харків. Завдяки діагоналям коефіцієнт непрямолінійності знижується до 1,11-1,2. Однак поява вузлів з багатьма вхідними вулицями значно погіршують організацію руху та розміщення будівель.

Трикутна схема не набула розповсюдження через гострі кути, що виникають при перетині елементів ВДМ і створюють труднощі в забудові ділянок. *Гексагональна схема* це схема, в основі якої лежить комбінація шестикутників. У цій схемі виключається утворення складних вузлів на пересіченнях магістральних вулиць, а також протяжних прямолінійних напрямків, що створюють умови для швидкісного руху транспорту. Схема не набула великого поширення. *Комбінована схема* поєднує в собі різноманітні схеми. Найбільшого поширення набула для найзначніших міст-мегаполісів. Нерідко зустрічається в центральних зонах вільна, радіальна чи радіально-кільцева структура, а в нових районах вулично-дорожня мережа розвивається за прямокутною чи прямокутно-діагональною схемою. *Довільна схема* притаманна для старих міст з неупорядкованою ВДМ. Для неї властиві вузькі, зігнуті в плані вулиці з частими перетинами, що є серйозною перешкодою для організації руху міського транспорту та вантажного транспорту.

Вулично-дорожня мережа розподілена на *вулиці* і *дороги*, функції яких принципово розрізняються. *Функції вулиць* полягають:

- у забезпеченні доступу до домоволодіння, об'єктів масового тяжіння городян, включаючи об'єкти інфраструктури;
- у наданні простору для пересування пішоходів, громадського транспорту, автомобілів комунальних служб, торгівлі і сервісу, легкових автомобілів

населення, прокладення рейкових шляхів громадського транспорту, стоянки транспортних засобів, відпочинку і культурних заходів, вуличної торгівлі [4].

Автомобільна дорога – частина території, зокрема у населеному пункті, з усіма розташованими на ній спорудами (мостами, шляхопроводами, естакадами, надземними і підземними пішохідними переходами) та засобами ОДР, призначена для руху транспортних засобів і пішоходів та обмежена по ширині зовнішнім краєм тротуарів чи краєм смуги відводу. Класифікація вулиць і доріг встановлюється при проектуванні генеральних планів у відповідності з загальним архітектурно-планувальним рішенням. Класифікація міських вулиць і доріг згідно з ДБН 360-92** наведена в таблиці А.2.

Розв'язками є всі примикання, пересічення та транспортні площі, які визначають рівень безпеки руху та пропускну здатність вулично ВДМ [5]. *Перехрестя* – це місце, в якому перетинаються або зустрічаються магістралі, і хоча б дві з них взаємно з'єднуються у горизонтальній площині. Перехрестя слід розрізняти по: *категоріях вулиць, що перехрещуються; геометричній схемі перехрещення; способу організації руху*. Основні види пересічень за конфігурацією представлені в таблиці А.3.

За транспортно-планувальною характеристикою і способом організації дорожнього руху усі вузли можна розділити на наступні групи: *нерегульовані; регульовані; саморегульовані* (таблиця А.4).

Перехрестя міських вулиць і доріг у різних рівнях дозволяють, якщо не вирішити повністю, то, принаймні, зменшити гостроту таких проблем, як недостатня пропускну здатність перехрестя, надмірні витрати часу і низька безпека руху на ньому. Необхідна пропускну здатність на такому перехресті забезпечується за рахунок рознесення прямих потоків на різні рівні і будівництва з'їздів для потоків, які повертають. Перехрестя класифікують за повнотою розв'язування потоків, які повертають: *за числом рівнів перехрестя і схемою організації лівоповоротного руху*.

За повнотою розв'язування потоків перехрестя, що повертають, бувають *повні* та *неповні*. Повними називають ті, на яких відсутні конфліктні місця, кожний з потоків руху повертає по окремому з'їзду. При відсутності хоча б одного з лівоповоротних з'їздів перехрестя відноситься до неповних і має

потенційно небезпечні місця (таблиця А.5). За числом рівнів перехрестя розділяють на розв'язки в двох, трьох і чотирьох рівнях. Найбільш поширені розв'язки в двох рівнях. Транспортна розв'язка в трьох рівнях має у 2,5-3,0 рази дорожчу вартість ніж розв'язки в двох рівнях. За схемою організації лівоповоротного руху перехрестя в різних рівнях поділяють на *розв'язки з петлеподібними лівоповоротними з'їздами типу «лист конюшини»*; *напівпрямими і прямими лівоповоротними з'їздами*; *розв'язки складного членування*, на яких може бути більше трьох рівнів. Найбільше поширення на автомобільних дорогах та у містах одержали неповні перехрестя. З повних перехресть найбільш поширеними є розв'язки типу «лист конюшини» (рисунок А.1-А.2).

Вартість різних варіантів однієї транспортної розв'язки може сильно відрізнятися залежно від повноти розв'язки і рівня забезпечення безпеки руху. Чим вище транспортне навантаження на перехрестя, тим більших розмірів повинна бути транспортна розв'язка. Її економічна доцільність визначається порівнянням витрат на будівництво з економією за рахунок зменшення витрат від затримок транспорту і ДТП на перехресті [4].

1.2 Обґрунтування актуальності дослідження задачі підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі

Для сучасних міст рівень автомобілізації суттєво впливає на проблеми міста. Зі зростанням рівня автомобілізації загострюється транспортна проблема, суть якої в наступному:

- забезпечення пропуску транспортних потоків високої інтенсивності;
- забезпечення пропускної здатності ВДМ;
- розміщення та зберігання автомобілів у місті;
- підвищення рівня безпеки руху;
- обмеження впливу транспорту на навколишнє середовище.

З метою оцінювання ефективності впровадження змін на ВДМ загалом та на регульованих перехрестях використовують критерії якості керування. Ними, зокрема, є *затримка* (середня і загальна), *тривалість руху*, *кількість зупинок*, *середня швидкість руху*, *довжина черги* (середня і максимальна), *тривалість*

заторів, ймовірність проїзду на перший дозвільний сигнал світлофора, пропускна здатність, симетрія керування (відносно напрямків руху чи потоків, що конфліктують), ефективність використання ВДМ, викиди шкідливих речовин у довкілля, транспортний шум, витрати палива тощо [4].

Деякі з критеріїв для досягнення оптимального результату вимагають максимізації, а інші – мінімізації тих самих параметрів. Ще інші – навпаки: оптимізація керування за одним із них приводить до підвищення якості керування і за іншим. Це вказує на те, що для різних умов руху доцільно використовувати різні критерії, що забезпечують максимальний ефект саме в таких умовах. У такому разі не існує цільової функції, яка б дала змогу здійснювати ефективне керування для всіх можливих змін умов руху. У таблиці А.6 наведено цілі, які висувуються під час проектування міських автомобільних систем управління дорожнім рухом, та відповідні їм критерії якості [6].

Безпека дорожнього руху – це характеристика якості дорожнього руху, що відображає ступінь захищеності його учасників від дорожньо-транспортних пригод та їх наслідків. Ступінь захищеності учасників руху від ДТП найчастіше описується показником рівня безпеки дорожнього руху. Проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні (в тому числі і у місті Дніпро) за останні роки набули характеру, що постійно загострюється (рисунки А.3-А.8).

Економіка, що розвивається, з одного боку, стимулює розвиток і розширення автомобільних перевезень, з іншого – несе негативні наслідки, приводячи до зростання числа дорожньо-транспортних пригод, чисельності загиблих і поранених на дорогах, забруднення навколишнього середовища, збільшення економічного збитку. У зв'язку з цим перед державою стоїть найважливіше завдання – забезпечення ефективного транспортного процесу при гарантованому рівні дорожньої безпеки, що вимагає розробки дієвих і обґрунтованих заходів для стримування рівня аварійності і початку сталого процесу підвищення безпеки руху на дорогах.

Забезпечення безпеки руху на автомобільному транспорті – комплексна задача, для вирішення якої необхідний системний підхід, обумовлений створенням ефективної державної системи управління безпекою дорожнього руху, впровадженням в практику сучасних методів вирішення завдань

організації та управління дорожнім рухом, а також його безпекою, впровадженням вітчизняного та зарубіжного досвіду розробки автоматизованих та інтелектуальних систем управління дорожнім рухом, розробкою ефективного застосування нормативних, інформаційних, технічних, методичних, експертних, освітніх засобів і технологій.

Дорожньо-транспортний травматизм займає перше місце у світі по числу загиблих і друге по числу тих, що травмуються. Загальна летальність при ДТП в 12 разів вище, ніж при інших видах травм, інвалідність – в 6 разів вище. Питання безпеки дорожнього руху є особливо актуальним в Україні, оскільки, за даними офіційної статистики, на дорогах країни кожні 18 хвилин трапляється ДТП, а через кожні 117 хвилин у аваріях гине людина. Тож аналіз закономірностей скоєння ДТП, їх розподілу в часі та просторі, а також виявлення причин скоєння є актуальним питанням, яке суттєво впливає на стан всієї транспортної системи держави. Дорожньо-транспортна пригода є випадковою подією, яка, можливо, підпорядкована певній закономірності. У таблиці А.7 наведена статистика ДПТ за 2019 рік по областях України, а у таблиці А.8 та на рисунку А.9 статистика ДТП з постраждалими за 2019 рік за причинами скоєння.

На безпеку дорожнього руху впливає безліч факторів: як об'єктивних (конструктивні параметри і стан дороги, інтенсивність руху транспортних засобів і пішоходів, облаштування доріг спорудами і середовищами регулювання, час року, години доби), так і суб'єктивних (стан водіїв і пішоходів, порушення ними встановлених правил).

Таким чином, на дорогах існує складна динамічна система, що включає в себе сукупність елементів: людина, автомобіль, дорога, що функціонують в певному середовищі. Ці елементи єдиної дорожньо-транспортної системи знаходяться в певних відносинах і зв'язках один з одним і утворюють цілісність. Вони формують фактори ризику, які можуть призвести до ДТП. З точки зору безпеки дорожнього руху інтерес для системного вивчення представляють як самі фактори ризику, так і їх різні поєднання, а саме: людина – автомобіль; автомобіль – дорога; дорога – людина. На рисунку А.10 представлена роль різних факторів як причин ДТП [6].

1.3. Умови та технічні засоби організації дорожнього руху

Організація дорожнього руху на перетинах обумовлюється інтенсивністю руху транспортних потоків на них. У разі, коли інтенсивність руху на перехресті відносно мала, перехрестя може функціонувати як нерегульоване. При цьому ефективність такого перетину обумовлюється достатньою кількістю смуг руху на підходах до перехрестя, а також каналізуванням транспортних потоків. В разі, коли інтенсивність руху збільшується і досягає певних значень, організація руху на перетині в одному рівні стає можлива лише при використанні світлофорної сигналізації. Умови використання різноманітних видів ОДР на перехрестях наведена на рисунку А.11.

При реалізації заходів ОДР особлива роль належить використанню технічних засобів: *дорожніх знаків* (рисунок А.12), *дорожньої розмітки*, *засобів світлофорного регулювання*, дорожніх огорожень і напрямних пристроїв.

Розміткою називаються лінії, написи та інші позначення на полотні дороги і дорожніх спорудах, що встановлюють порядок руху або інформують водіїв і пішоходів про умови руху (рисунок А.13). Розмітка поділяється на горизонтальну (рисунок А.14) і вертикальну (рисунок А.15). Горизонтальна розмітка використовується на дорогах з удосконаленим покриттям і являє собою нанесені на полотно дороги лінії, написи або стрілки. Вертикальна розмітка використовується для виділення небезпечних елементів дорожніх споруд. Розмітка проїжджої частини є ефективним засобом організації дорожнього руху. Її влаштовують для поліпшення орієнтування водіїв про напрямлення дороги, більш ефективного використання ширини проїзної частини та забезпечення безпечних умов для здійснення різних маневрів.

Слід зазначити, що в сучасних умовах світлофорне регулювання є одним з основних засобів забезпечення безпеки руху на перехрестях [7-8]. Світлофори – світлосигнальні пристрої, які призначені для регулювання черговості руху через ділянку ВДМ, у наступних випадках:

- на перехрестях з інтенсивним рухом транспорту;
- на пішохідних переходах, пересіченнях з велосипедними доріжками;
- на смугах реверсивного руху;

- на залізничних переїздах, розвідних мостах, причалах тощо;
- на маршрутах транспортних засобів громадського користування.

Дорожні світлофори класифікуються за:

- функціональним призначенням – *транспортні* (рисунок А.16) та *пішохідні* (рисунок А.17);
- за конструктивним виконанням – *одно-, дво-, трисекційні* та *трисекційні з додатковими секціями* (рисунок А.17-А.21);
- завдяки ролі, яку вони відіграють у процесі управління дорожнім рухом – *основні, дублюючі, світлофори-повторювачі*.

На рисунку А.22 зображено геометричні елементи регульованого перехрестя та елементи керування транспортними та пішохідними потоками. Проектування регульованого перетину починається з визначення кількості фаз, складання схем руху транспортних і пішохідних потоків в кожній з них. При цьому для кожної з фаз визначається, які потоки будуть рухатися без конфліктів, і які будуть здійснювати рух з конфліктами (рисунок А.23). Відповідно під конфліктними потоками розуміються такі, які при русі в одній і тій же фазі будуть взаємодіяти в конфліктних точках [9].

У більшості випадків регульовані перехрестя характеризуються наявністю світлофорного регулювання. Структура світлофорного регулювання характеризується поняттями: *такт, фаза і цикл регулювання*. Цикл регулювання – по чергове надання пріоритету при світлофорному регулюванні, яке передбачає циклічність процесу. Цикл регулювання складається з фаз регулювання, а фази в свою чергу із тактів (рисунок А.24) [4]. Такт регулювання – період часу, протягом якого на перехресті діє незмінна комбінація світлофорних сигналів.

1.4 Висновки по розділу

1. Проаналізована структура вулично-дорожньої мережі та її елементів.
2. Обґрунтована актуальність дослідження задачі підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі.
3. Наведені умови та технічні засоби організації дорожнього руху.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

2.1 Аналіз заходів щодо підвищення ефективності ОДР

Організація дорожнього руху – це комплекс організаційно-правових, організаційно-технічних заходів і розпорядчих дій з управління рухом на дорогах. Заходи з організації дорожнього руху переслідують дві основні цілі: *підвищення безпеки руху та підвищення пропускної спроможності доріг.*

Основними цілями організації дорожнього руху є:

- дослідження характеристик дорожнього руху, для отримання фактичних даних про інтенсивності рух транспортних і пішохідних потоків;
- виявлення місць підвищеної небезпеки для руху транспортних засобів і пішоходів і розробка заходів щодо їх ліквідації;
- виявлення «вузьких» місць дорожньої мережі (місць виникнення затримок руху) і розробка заходів щодо підвищення пропускної здатності доріг;
- на основі аналізу отриманих даних розробка раціональних схем руху та їх коригування відповідно до зміни умов у транспортному (пішохідному) сполученнях;
- нагляд і контроль за дотриманням правил дорожнього руху – виявлення порушень правил і ініціювання покарань;
- оперативне регулювання дорожнього руху (в основному за допомогою світлофорного регулювання);
- впровадження в експлуатацію нових технічних засобів управління рухом.

На практиці перераховані задачі пов'язані між собою. Розробка раціональних схем руху для транспортних і пішохідних сполучень сприяє скороченню затримок і кількості ДТП. Ліквідація місць підвищеної небезпеки, як правило, сприяє підвищенню швидкості руху. На рисунку Б.1 представлені основні методи і способи організації дорожнього руху [8].

При розробці методів ОДР необхідно враховувати загальносвітові тенденції розвитку дорожньої мережі, що складаються останнім часом:

- надання пріоритету у русі громадському транспорту;
- жорстка регламентація стоянки (обмеження зупинки транспортних засобів на дорогах, підвищення плати за стоянку у центрі міста).

2.2. Оцінка ефективності заходів з організації дорожнього руху

У загальному виді ефективність заходів, що покращують ОДР, полягає у:

- підвищенні рівня безпеки дорожнього руху;
- зниження витрат часу пасажирів у дорозі;
- зниження витрат часу пішоходів у місцях переходу доріг і вулиць;
- зниження рівня транспортного шуму;
- поліпшення екологічних характеристик навколишнього середовища;
- зменшення концентрації шкідливих речовин, що забруднюють придорожні смуги [2].

Рішення проблем забруднення навколишнього середовища викидами транспортних засобів, а також порушення ґрунтового покриву, рослинності і тваринного світу є одним із пріоритетних завдань, спрямованих на підвищення якості життя населення і збереження природного середовища. При розрахунках викидів шкідливих речовин в атмосферу враховуються такі основні параметри по кожній ділянці будівництва автомобільної дороги:

- інтенсивність руху транспортних засобів;
- середня швидкість руху;
- валові викиди забруднюючих речовин;
- ширина автомобільної дороги;
- тип існуючих захисних споруд (насипу, виїмки, зелені насадження і т.п.).

За даними Державної служби статистики транспорт займає 14% викидів у атмосферу (рисунок Б.2).

Транспортний шум є одним з істотних факторів фізичного впливу на навколишнє середовище. У міських умовах рух транспортних засобів створює до 80% шуму. Автомобільні транспортні засоби створюють рівень шуму, що наближається до граничних показників: на відстані 7,5 м легкові автомобілі виробляють шум до 77 дБ, вантажні автомобілі – 78 ... 83 дБ.

Економічна оцінка заходів – основа для прийняття будь-яких управлінських рішень, націлених на підвищення продуктивності та безпеки транспортної інфраструктури при забезпеченні оптимального компромісу цілей безпеки дорожнього руху з іншими цілями суспільства, що пред'являються до дорожніх мереж.

Для визначення ефективності заходів з організації та безпеки дорожнього руху використовують *метод порівняльного аналізу зміни кількості ДТП, кількості загиблих, поранених і розмір соціального і матеріального збитку* за виділений період до і після впровадження заходів. Надалі розраховують середній показник зниження числа ДТП в результаті проведення цих заходів.

Таким чином, на основі статистичних досліджень може бути визначений очікуваний ефект від зниження числа ДТП в результаті впровадження різних заходів, які були ефективні в аналогічних місцях. Розрахункові значення по кожному заходу носять імовірнісний характер. Їх використовують при плануванні заходів і визначенні очікуваної ефективності заходів. Для підвищення достовірності даних найбільш прийнятним попереднім і наступним періодом вважається період від 1 до 3 років [5]. На рисунку Б.3 представлена структура соціально-економічних збитків від ДТП.

Методика загальної та економічної оцінки ефективності заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху складається з наступних етапів:

- розробка кількох варіантів заходів підвищення безпеки дорожнього руху;
- визначення числа випадків загибелі і поранення в результаті ДТП, які можна уникнути щорічно в разі реалізації заходу;
- визначення щорічної економії шкоди в разі запобігання ДТП в вартісному вираженні;
- визначення витрат на реалізацію заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху;
- визначення терміну окупності заходів (розподіл витрат на величину щорічної економії шкоди в результаті запобігання ДТП). Якщо в розрахунках враховується вартість часу, що витрачається на поїздку (наприклад, збільшення часу проїзду перехрестя), необхідно визначити витрати, пов'язані з втратою часу, і відняти їх з величини щорічної економії витрат;
- вибір оптимального варіанта з позиції суспільства з числа можливих рішень.

2.3. Вибір об'єктів дослідження на ВДМ м. Дніпро

Найбільші труднощі при організації дорожнього руху виникають на перехрестях вулиць, оскільки вони є «вузькими місцями» на ВДМ з погляду швидкого обслуговування транспортних та пішохідних потоків.

В дисертаційній роботі колишнього співробітника кафедри управління на транспортні НТУ «Дніпровська політехніка» Кузнєцова О.П. «Формування варіанта раціонального розташування АГНКС в містах» [10] наведено результати експертного оцінювання щодо значимості окремих ділянок вулично-дорожньої мережі м. Дніпра. Всього 20 експертами було виділено 45 перехресть. Перелік перехресть із результатами ранжування їх значимості, наведені у таблиці Б.1. Процедура ранжування полягала у наступному: найбільш значимому об'єкту присвоювався ранг 1, а найменш значимому – ранг 45.

В рамках вирішення поставленої першої задачі про обґрунтування вибору об'єктів дослідження було прийнято рішення виконати АВС-аналіз цих перехресть. АВС-аналіз полягає у виявленні та оцінці незначного числа кількісних величин, які є найціннішими та мають найбільшу питому вагу у загальній сукупності кількісних показників. Методика побудови АВС-аналізу вимагала перерахунку суми *отриманих в результатів опитування рангів* $\sum R_i$ у обернені за наступною залежністю:

$$\sum R_i^* = \sum R^{MAX} - \sum R_i + \sum R^{MIN}, \quad (2.1)$$

де $\sum R^{MAX}$ – максимально можлива сума рангів, $\sum R^{MAX} = 900$;

$\sum R^{MIN}$ – мінімально можлива сума рангів, $\sum R^{MIN} = 20$;

Результати виконаних розрахунків $\sum R_i^*$ та їх питомої ваги також наведені у таблиці Б.1. У таблиці Б.2. наведено результати виконаного АВС-аналізу: для цього всі перехрестя були відсортовані по зменшенню питомої ваги та розподілені між групами А, В та С. Було прийнято рішення обрати у якості об'єктів дослідження перехрестя із найбільш значимої групи – групи А (рисунок Б.4). Аналіз рисунку Б.4 свідчить, що найбільш вагомими для ВДМ м. Дніпро перехрестя знаходяться на проспекті Слобожанському, вулиці Набережна Заводська та вулиці Космічна.

2.4 Аналіз можливостей та області застосування сучасних програмних продуктів з імітаційного моделювання дорожнього руху

В сучасних умовах завдяки постійно зростаючим можливостям обчислювальної техніки, програмне забезпечення для розробки різних типів транспортних моделей розвивається швидкими темпами.

Транспортні моделі діляться на *математичні* та *імітаційні*. Перші оперують відомими законами руху транспорту, представленими у вигляді формул, систем рівнянь і т.п. Другі імітують рух окремих транспортних засобів, поведінку водіїв, роботу світлофорів тощо [11]. *Імітаційні моделі* вирішують задачі побудови математичних моделей, здатних адекватно описувати поведінку учасників транспортного потоку і правильно відтворювати параметри і характеристики руху. Залежно від того, як в цих моделях розглядається транспортний потік, їх можна розділити на макроскопічні (автомобільний потік уподібнюється руху рідини) і мікроскопічні (моделюється кожен автомобіль в потоці). Імітаційні моделі дозволяють оцінити швидкості руху, затримки на перехрестях, довжину і динаміку утворення заторів тощо. Розглянемо можливості та області застосування найбільш поширених програмних продуктів моделювання транспортних систем, які використовуються у світовій практиці.

Програмний пакет Emme-3

У програмному пакеті Emme-3 реалізований повний цикл моделювання транспортної системи, від розрахунку обсягів транспортного попиту до визначення характеристик транспортних потоків на окремих ділянках дорожньої мережі. Можливості програми Emme-3:

- моделювання параметрів транспортного попиту;
- моделювання розподілу транспортних потоків по дорожньої мережі;

Програмний пакет OmniTrans

Програмний пакеті OmniTrans являє собою сучасний засіб макромоделювання транспортних систем, який має наступні можливості:

- моделювання транспортного попиту;
- маршрутизація: розподіл поїздок по часу, видам транспорту і ділянок ВДМ;
- відновлення матриць транспортних кореспонденцій за даними спостережень.

Програмний пакет Transims

У програмі Transims реалізовані найсучасніші принципи транспортного моделювання. Можливості Transims:

- моделювання транспортного попиту і заходів щодо його регулювання;
- можливості моделювання багатомодальним поїздок, аналізу ефективності маршрутної мережі ОПТ;
- мікромоделювання руху автомобілів. Здійснюється імітаційне моделювання руху кожного автомобіля по дорожньої мережі;
- імітаційне моделювання дозволяє отримати детальну інформацію про параметри транспортних потоків, про кожній ділянці дорожньої мережі (середня швидкість, щільність, інтенсивність в кожен момент часу), про кожну досконалої поїздки (витрачений час, час проїзду ділянок мережі, середня швидкість), про роботу ГУРТ (середня завантаженість рухомого складу, регулярність руху, пасажиропотоки).

Програмний пакет Cube

Cube – програмний пакет для моделювання транспортних систем, розроблений фірмою Citilabs (Великобританія) включає модулі для моделювання транспортного попиту, мікромоделювання рух автомобілів, а також роботи громадського пасажирського та вантажного транспорту. Має наступні можливості:

- реалізація повного циклу транспортного моделювання;
- мікромоделювання руху автомобілів. Отримання повної інформації про дорожній рух і умови проїзду його учасників;
- моделювання пасажирського транспорту за допомогою спеціалізованого модуля;
- моделювання вантажних перевезень.

Програмний пакет AIMSUN

Програма AIMSUN, що розробляється фірмою Transport Simulation (Барселона, Іспанія), здійснює повний цикл моделювання транспортної системи. Можливості AIMSUN:

- математична чотирирівнева модель;
- моделювання на мезорівні: детальне моделювання руху автомобілів з спрощеним алгоритмом для підвищення ефективності;

- мікромодельовання руху автомобілів з можливістю отримання детальної інформації про характеристики транспортного потоку на кожній ділянці дорожньої мережі.

Програмний пакет TransCAD + Transmodeler

TransCAD надає можливості моделювання транспортного попиту, а Transmodeler – можливості моделювання руху автомобілів (Caliper, США).
Можливості TransCAD + Transmodeler:

- мікромоделювання руху кожного індивідуального транспортного засобу, отримання середніх даних;
- отримання інформації про параметри руху (швидкість, щільність, інтенсивність) на кожній ділянці дорожньої мережі. Інформація доступна в «реальному часі» під час моделювання, і детальна кількісна інформація про середню швидкість, щільності та інтенсивності руху по дорогах і про транспортні затримки доступна в результаті моделювання;
- можливість створювати модель системи управління дорожнім рухом (в тому числі з використанням елементів ІТС). Програмний комплекс містить блок, що імітує роботу системи управління, який за свідченнями датчиків, що монтуються блоком дорожнього руху, управляє модельований дорожнім рухом за допомогою світлофорів.

Програмний пакет Paramics і S-Paramics

Paramics (Великобританія) призначена для мікромодельовання руху автомобілів по дорожньої мережі. Існують дві версії програми, незалежно один від одного розробляються фірмами Quadstone (Paramics) і SIAS, які мають багато спільного, хоча і відрізняються в деталях. Можливості Paramics:

- мікромодельовання руху автомобілів по дорожньої мережі. Отримання детальної інформації про кожну поїздку про умови руху на кожній ділянці дорожньої мережі;
- реалізація різних схем управління дорожнім рухом, в тому числі і з застосуванням елементів ІТС.

PTV VISSIM (PTV AG, Germany) – багатоцільовий пакет для моделювання трафіку на мікрорівні. Дозволяє моделювати міські перехрестя будь-якої складності і типу регулювання, аналізувати пропускну здатність транспортних систем і тестувати схеми транзитних пріоритетів. Дає можливість

управляти системами контролю альтернативних маршрутів і контролю трафіку, аналізувати ємність стоянок і моделювати трафік різних транспортних засобів з перетинами, пересадками на різних рівнях (автобусний маршрут, залізниця, метро, ескалатор і т.д.). VISSIM надає можливості збору статистики на будь-якій ділянці транспортної мережі та формування звітів, створення презентацій та відеороликів. На рисунку Б.5 представлені задачі, які може виконувати VISSIM. Алгоритм створення транспортної моделі у середовищі VISSIM наведено на рисунку Б.6 [1].

AnyLogic – програмне забезпечення для створення імітаційних моделей складних систем (в тому числі і транспортних: рисунок Б.7-Б.8) і процесів, розроблене російською компанією XJ Technologies. Продукт отримав назву AnyLogic, тому що він підтримує всі три відомі методи моделювання: *системна динаміка; дискретно-подієве моделювання та агентне моделювання*. Можливості, які надає AnyLogic представлені на рисунку Б.9.

Результати виконаного статистичного аналізу публікацій із згадками про використання пакетів імітаційного моделювання, які розміщені на ресурсах наукової електронної бібліотеки eLIBRARY.RU за 2010-2019 р.р. [12] (рисунок Б.10), засвідчують, що на сьогоднішній день одними із найбільш затребуваних програмних продуктів є AnyLogic (358 згадок), PTV Vissim (191 згадка) та Aimsun (187 згадок). З огляду на доступність використання студентських версій PTV Vissim та AnyLogic було прийнято рішення про їх використання під час створення моделей обраних об'єктів дослідження.

2.5 Висновки по розділу

1. Виконано аналіз заходів щодо підвищення ефективності ОДР.
2. Представлені оцінки ефективності заходів з ОДР.
3. Обґрунтовано вибір об'єктів дослідження на ВДМ м. Дніпро.
4. На підставі аналізу можливостей та області застосування сучасних програмних продуктів з імітаційного моделювання дорожнього руху, було прийнято рішення для створення моделей обраних об'єктів дослідження використати пакети PTV Vissim та AnyLogic.

З МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВДМ М. ДНІПРО

3.1 Обґрунтування доцільності влаштування кільцевого пересічення на перетині вулиць Павлова та Набережна Заводська

За транспортно-планувальною характеристикою і способом організації дорожнього руху усі вузли можна розділити на наступні групи: *нерегульовані*; *регульовані* та *саморегульовані* (таблиця А.4). Регульоване перехрестя є одним з найпоширеніших типів вузлів вулично-дорожньої мережі міста. Основні затори і затримки транспорту виникають саме на регульованих перехрестях, які і обмежують пропускну здатність вулиць та доріг [6]. Тому якість організації дорожнього руху на регульованих перехрестях в першу чергу впливає на показники функціонування транспортної мережі та ефективність транспортних процесів перевезень [2]. Протягом багатьох десятиріч світлофорне регулювання залишалося основним методом організації дорожнього руху на багатьох видах пересічень. Але в сучасних умовах, які характеризуються динамічними знакозмінними навантаженнями на ВДМ, фіксоване (та в деяких умовах навіть адаптивне) управління світлофорними об'єктами не завжди буває ефективним і виправдовує своє застосування. Основними недоліками світлофорного регулювання є значне скорочення пропускну здатності перехресть та зниження швидкості руху. Також слід зазначити, що згідно із відомостями, наданими Патрульною поліцією України, більшість ДТП у містах України відбувається саме на регульованих перехрестках (рисунок А.9) [13].

Досвід зарубіжної практики засвідчує, що одним з основних способів підвищення безпеки руху на перехрестях є *заспокоєння руху*. Заспокоєння руху – це методи створення фізичних та візуальних перешкод руху на великій швидкості на необхідних ділянках. Одним із найбільш дієвих методів зниження аварійності та запобігання ДТП безпосередньо на перехрестях є облаштування *сучасних кільцевих перетинів* малого і середнього діаметрів, які позначаються терміном *roundabout* [14]. У багатьох країнах Західної Європи ефективність застосування кільцевих перетинів даного типу переконливо підтверджується зниженням всіх показників аварійності, особливо зниженням тяжкості ДТП і зменшенням кількості ДТП із загиблими. Це пояснюється: значним

зменшенням кількості конфліктних точок (рисунок В.1), геометричними параметрами, які призводять до зниження швидкості руху на перетинах типу *roundabout*; поліпшенням умов руху пішоходів – скорочується протяжність переходів через проїжджі частини перетину. Основні елементи сучасного кільцевого перетину наведені на рисунку В.2.

Незважаючи на перераховані вище переваги, у вітчизняній практиці дорожнього проектування сучасні кільцеві перетини не отримали належного застосування в першу чергу у зв'язку із недостатньо розвиненою нормативно-методичною базою. Однією із альтернатив вирішення цієї проблеми є запозичення моделей, розроблених в Європейських країнах, проте в цьому випадку існує велика імовірність виникнення неточності оцінки через відмінності внаслідок різних принципів проектування, а також манери водіння. Перераховані вище передумови, засвідчують про актуальність задачі вивчення умов застосування сучасних кільцевих перетинів на ВДМ середніх та великих міст України з метою обґрунтування їх оптимальних геометричних та технічних параметрів.

У якості об'єкту дослідження на ВДМ м. Дніпро було обране перехрестя вул. Набережна Заводська – вул. Павлова, яке відноситься до Т-образного типу і на якому організована схема руху із трьома фазами роз'їзду. Зовнішній вигляд перехрестя, його схема, а також діючі фази роз'їзду наведені на рисунках В.3-В.7 відповідно. Вибір перехрестя вул. Набережна Заводська – вул. Павлова у якості об'єкту дослідження пояснюється високими інтенсивностями руху транспортних засобів (у години «пік» понад 2000 авт/год), великою питомою вагою вантажного та пасажирського транспорту (по деяких напрямках руху до 30%) та підвищеною аварійністю (за останній рік на ньому трапилося 7 ДТП, два з яких із тяжкими наслідками). Тривалість світлофорного циклу 110 с. Особливістю перехрестя є наявність трисекційного світлофору з додатковою секцією («зелена стрілка») при повороті праворуч на вул. Павлова (рисунок В.4-В.7). Інтенсивності транспортних потоків на перехресті були отримані методом натурних обстежень для ранкової години «пік» з 7⁰⁰-8⁰⁰. Було встановлено, що інтенсивності вхідних потоків за напрямком руху №1 (ж/м Парус → Центр) становлять 2100 авт./год., за напрямком руху №2 (Центр → ж/м Парус) – 1700 авт./год., а за напрямком

руху №3 (з вул. Павлова) – 800 авт./год. Елюра інтенсивності транспортних потоків також наведена на схемі перехрестя (рисунок В.4).

У якості інструментарію моделювання був застосований програмний продукт PTV Vissim (64 bit) 11 (Студентська версія). Слід зауважити, що «Студентська версія» майже не має функціональних обмежень, але дозволяє досліджувати створені об'єкти лише протягом 600 с. Таким чином, отримані нижче результати моделювання є чинними для проміжку часу, який складає 10 хв. Враховуючи тривалість світлофорного циклу на перехресті вул. Набережна Заводська – вул. Павлова, який складає 110 с., автори вважають дане обмеження припустимим, а отримані результати мають право бути екстрапольовані спроектовані і на більш тривалі проміжки часу. Алгоритм створення моделі перехрестя у програмному середовищі PTV VISSIM наведено на рисунку В.6 [1]. Були розроблені дві імітаційні транспортні моделі перехрестя вул. Набережна Заводська – вул. Павлова із *регульованим* (рисунок В.8) та *кільцевим* рухом (рисунок В.9). Процес імітації руху транспортних засобів на цих перехрестях наведено на рисунках В.10 та В.11 відповідно. Навіть якісний аналіз результатів моделювання дозволяє зробити висновок, що організація регульованого руху призводить до утворення суттєвих заторів. Можливості кількісного аналізу транспортного руху у PTV VISSIM наведено на рисунку В.12. В таблиці В.1 наведені основні характеристики руху, які розраховуються у PTV VISSIM протягом імітації.

Виходячи із рекомендацій наданих у роботі [6] (таблиця В.2) та у роботі [15] авторами був обраний перелік із 8 показників, які на їх думку є найбільш значущими для оцінки ефективності заходів з організації дорожнього руху. Абсолютні (за результатами моделювання) обраних показників та розраховані за (3.1) їх відносні значення наведені у таблиці В.3.

$$k_i^j = \begin{cases} \frac{X_i^{j(\text{найкращий})}}{X_i^j}, & \text{якщо } X_i^{j(\text{найкращий})} = \min(X_i^j) \\ \frac{X_i^j}{X_i^{j(\text{найкращий})}}, & \text{якщо } X_i^{j(\text{найкращий})} = \max(X_i^j) \end{cases}, \quad (3.1)$$

де X_i^j – абсолютне значення j -го показника i -го варіанту організації дорожнього руху моделі.

Для комплексної оцінки ефективності руху на окремому перехресті автори пропонують використовувати функціонал наступного виду:

$$K_i^{КОМПЛ} = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^n k_i^j} \rightarrow \max, \quad (3.2)$$

де k_i^j – відносна величина j -го показника ефективності при i -му варіанті організації дорожнього руху; n – кількість показників, що враховуються.

Радарна діаграма відносних показників та загальна характеристика ефективності організації дорожнього руху на перехресті вул. Набережна Заводська – вул. Павлова наведена на рисунках В.13 та В.14 відповідною. Значення запропонованого комплексного показника ефективності (1) для кільцевого руху становить 0,95, а для світлофорного – 0,47, таким чином загальна ефективність запропонованих рішень для обраного об'єкту дослідження склала 48%.

$$K_{\text{світлофорний рух}}^{КОМП} = \sqrt[8]{0,36 \cdot 0,97 \cdot 0,63 \cdot 0,35 \cdot 0,39 \cdot 0,08 \cdot 1,00 \cdot 1,00} = 0,47.$$

$$K_{\text{кільцевий рух}}^{КОМП} = \sqrt[8]{1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 0,75 \cdot 0,89} = 0,95.$$

3.2 Обґрунтування доцільності влаштування світлофорного регулювання на пересіченні вулиці Набережна Заводська та з'їзду з Кайдакського моста

Основними показниками якості функціонування будь-якого елементу ВДМ є безпека, зручність і економічність руху. Ці показники багато в чому визначаються ступенем його (елементу) завантаженості, тобто співвідношенням між інтенсивністю руху і пропускнуою здатністю. Збільшення ступеню завантаженості руху призводить до появи заторів та до зростання кількості ДТП. Суттєве зниження пропускнуої здатності і рівня безпеки руху на міських вулицях виникає в зоні перехресть, особливо на ділянках злиття і переплетення транспортних потоків, де відбувається зміна напрямку руху. У м. Дніпро одним із таких місць є з'їзд з Кайдакського моста (рисунок В.15).

Пропускна здатність цієї ділянки знижується через недостатню ширину проїзної частини з'їзду та радіусів його заокруглень, але у першу чергу через

високої інтенсивності руху на головному напрямку – вул. Набережній Заводській, яка є основною транспортною артерією міста, з інтенсивністю руху більш ніж 2500 авт./год. Відсутність світлофорів на ділянці вул. Набережній Заводській, яка передує з'їзду з Кайдакського моста (довжиною більш ніж 2 км) призводить до створення заторів та аварій у конфліктних точках злиття, або навіть до часткового блокування руху на мосту (рисунок В.16). Для підвищення рівня безпеки руху та зниження кількості ДТП було прийнято рішення обґрунтувати встановлення світлофору на цій ділянці ВДМ м. Дніпро.

Для цього у середовищі PTV Vissim були створені дві транспортні моделі – модель з'їзду з моста без світлофора та модель зі світлофорами (рисунки В.17 та В.18 відповідно). Відсутність модуля оптимізації світлофорного циклу у середовищі PTV Vissim потребувала створення ще двох моделей подібних рисункам В.17 та В.18 у продукті AnyLogic. Процес визначення оптимальних параметрів світлофорного циклу представлений на рисунку В.19, а його фазові складові на рисунках В.20-В.21.

На рисунках В.22-В.25 наведені показники руху ТЗ світлофорів та зі світлофорами, які були розраховані у середовищі AnyLogic. Навіть якісний аналіз інформації, наведеної на рисунках В.22-В.25 дозволяє зробити висновок, що встановлення світлофорного регулювання на цій ділянці ВДМ призведе до суттєвого збільшення ефективності ОДР. Введення отриманих оптимальних параметрів світлофорного циклу у модель створену у середовищі PTV Vissim дозволило оцінити ефективність запропонованого заходу на більш якісному рівні (таблиця В.4). Радарна діаграма відносних показників та загальна характеристика ефективності ОДР наведена на рисунках В.26 та В.27 відповідною. Значення запропонованого комплексного показника ефективності (3.2) для моделі без світлофорного регулювання становить 0,59, а зі світлофором –1,00, таким чином загальна ефективність запропонованого рішення для обраного об'єкту дослідження склала 41%.

$$K_{\text{без світлофорів}}^{\text{КОМП}} = \sqrt[8]{0,74 \cdot 0,60 \cdot 0,83 \cdot 0,60 \cdot 0,94 \cdot 0,22 \cdot 0,50 \cdot 0,60} = 0,59.$$

$$K_{\text{зі світлофорами}}^{\text{КОМП}} = \sqrt[8]{1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00} = 1,00.$$

3.3 Обґрунтування неефективності влаштування паркування на крайній правій смузі руху

В сучасних умовах зі збільшенням з кожним роком кількості ТЗ все більш гостро постає проблема недостатньої паркувальних місць у великих містах України. Порухення правил паркування створює перешкоди вільному пересуванню автомобілів та пішоходів, негативно впливає на ступінь аварійності на дорогах і значною мірою сприяють виникненню заторів, погіршуючи безперебійну організацію руху на території міста. В свою чергу стихійне будівництво паркувальних майданчиків у багатьох містах України (в тому числі і у м. Дніпро) проводиться із значними порушеннями діючих вимог, правил, норм та стандартів. Виконаний аналіз стану сучасної паркувальної системи, дозволив виділити наступні її найбільш актуальні проблеми:

- невідповідність інфраструктури паркування сучасним вимогам;
- недостатня кількість паркувальних місць на відведених, спеціально обладнаних майданчиках для паркування та паркінгів;
- низька якість послуг з паркування автотранспорту;
- низький рівень дотримання правил паркування;
- низька дисципліна оплати паркувальних місць, відповідно до цього велика кількість коштів оминає бюджети міст;
- недостатня обладнаність платіжними терміналами, які б прозоро дозволяли здійснювати оплату за використану послугу;
- недостатня відповідальність при порушенні правил паркування;

Останнім часом у м. Дніпро все частіше почали з'являтися парковки, які займають крайню праву смугу руху (рисунок В.28) та відповідно суттєво зменшують пропускну здатність дороги особливо у зоні перехресть. У зв'язку з цим було прийнято рішення проаналізувати вплив влаштування таких парковок на ефективність руху. У якості об'єкта дослідження було обрано перехрестя вул. Ярослава Мудрого та вул. Воскресенської. Інтенсивності руху по смугам, а також світлофорні цикли на перехресті було визначені методом натурних обстежень. Світлофорні цикли перехрестя представлені на рисунках В.28 та В.29. Під час обстеження, яке проводилося у ранкову годину «пік» з 8⁰⁰ до 9⁰⁰,

інтенсивність руху по вул. Ярослава Мудрого становила 2 208 авт./год., а по вул. Воскресенська – 1 488 авт./год.

Для подальшого дослідження у середовищі PTV Vissim було створено дві транспортні моделі перехрестя: без смуги та зі смугою для парковки (рисунки В.30 та В.31 відповідно). Фактично, влаштування паркування у крайній правій смузі руху, позбавляє ділянку дороги однієї полоси, тому задача аналізу зводиться до порівняння дороги з трьома смугами та двома смугами руху. Процес імітації руху транспортних засобів для розроблених моделей наведений на рисунках В.32 та В.33. Навіть якісний аналіз процесу імітації дозволяє зробити висновок, що наявність смуги для паркування збільшує довжину затору і відповідно часу проїзду перехрестя.

Кількісні результати моделювання наведені у таблиці В.5. Радарна діаграма відносних показників та загальна характеристика ефективності влаштування паркування на крайній правій смузі руху організації наведена на рисунках В.34 та В.35 відповідно. Значення запропонованого комплексного показника ефективності (3.2) для дороги без парковки становить – 1,00, а для дороги з парковкою – 0,54, таким чином загальна ефективність такого рішення для обраного об'єкту дослідження знизилась ефективність ОДР на 46%.

$$K_{\text{з паркування}}^{\text{КОМП}} = \sqrt[8]{0,45 \cdot 0,43 \cdot 0,63 \cdot 0,46 \cdot 0,72 \cdot 0,38 \cdot 0,69 \cdot 0,74} = 0,54 .$$

$$K_{\text{без з паркування}}^{\text{КОМП}} = \sqrt[8]{1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00} = 1,00 .$$

3.4 Визначення вагових коефіцієнтів показників, які були обрані для оцінки ефективності заходів з організації дорожнього руху

Виходячи із можливостей PTV Vissim щодо кількісного аналізу параметрів транспортного руху та рекомендацій наданих у роботах [6, 12] авторами був обраний перелік 8 показників (таблиці В.3, В.4 та В.4) за якими здійснювалася підсумкова оцінка ефективності запропонованих заходів з організації дорожнього руху. Але можливо припустити, що обрані показники ефективності можуть мати нерівномірну значущість під час прийняття остаточних рішень щодо вибору варіанту організації дорожнього руху. Таким чином виникає необхідність у їх ранжуванні та визначенні вагових

коефіцієнтів. В такому випадку остаточною структура запропонованого критерію набуде наступного виду:

$$K_i^{КОМПЛ} = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^n \omega^j \cdot k_i^j} \rightarrow \max \quad (3.3)$$

де ω^j – ваговий коефіцієнт j -го показника ефективності.

Для визначення числових значень ω^j було прийнято рішення залучити «експертів» – спеціалістів, які мають практичний досвід вирішення задач з ОДР та створенні транспортних моделей у середовищі VISSIM. Розроблений для експертного оцінювання бланк опитування наведений на рисунку В.36. Всього в оцінюванні прийняло участь 14 фахівців – викладачів кафедр (із 7 ВНЗ України) за спеціальністю 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті), з них 12 мають вчене звання, в т.ч. 6 докторів технічних наук та 5 завідуючих кафедрами. Серед них такі відомі науковій спільноті постаті як Сахно В.П., Наглю І.С., Вдовиченко В.О., Біліченко В.В., Монастирський Ю.А. та Кристочук М.Є. Автори виражають велику вдячність усім фахівцям, які прийняли участь у запропонованому експертному оцінюванні. Результати оцінювання наведені у таблиці В.6., а на рисунку В.37 представлені результати розрахунку вагових коефіцієнтів ω^j .

Враховуючи помірно рівномірний розподіл вагових коефіцієнтів, було прийняти рішення не враховувати їх у підсумковій оцінці за (3.3).

3.5 Висновки по розділу

1. На підставі результатів імітаційного моделювання обґрунтована доцільність застосування до обраних об'єктів дослідження влаштування кільцевого перетину, встановлення світлофорного регулювання та відмову від влаштування паркування у крайній правій смузі руху.

2. Запроваджено структуру комплексного показника ефективності організації дорожнього руху для оцінки запропонованих заходів.

3. Проведено експертне оцінювання, розраховані вагові коефіцієнти для обраних показників ефективності ОДР.

ВИСНОВКИ

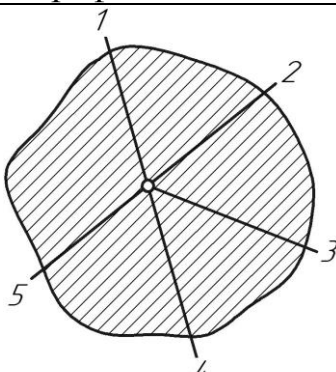
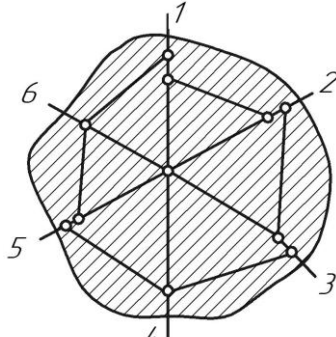
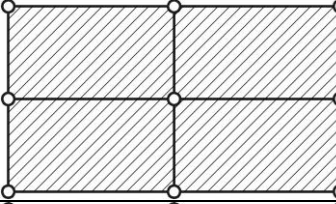
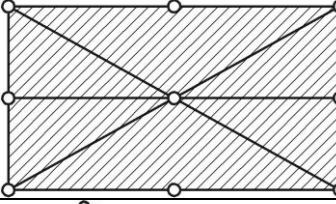
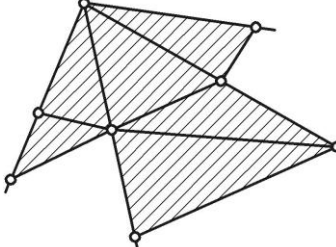
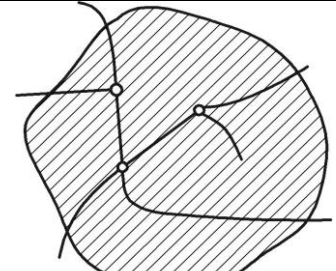
1. Проаналізована структура вулично-дорожньої мережі та її елементів.
2. Обґрунтована актуальність дослідження задачі підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі.
3. Наведені умови та технічні засоби організації дорожнього руху.
4. Виконано аналіз заходів щодо підвищення ефективності ОДР.
5. Представлені оцінки ефективності заходів з ОДР.
6. Обґрунтовано вибір об'єктів дослідження на ВДМ м. Дніпро.
7. На підставі аналізу можливостей та області застосування сучасних програмних продуктів з імітаційного моделювання дорожнього руху, було прийнято рішення для створення моделей обраних об'єктів дослідження використати пакети PTV Vissim та AnyLogic.
8. На підставі результатів імітаційного моделювання обґрунтована доцільність застосування до обраних об'єктів дослідження влаштування кільцевого перетину, встановлення світлофорного регулювання та відмову від влаштування паркування у крайній правій смужі руху.
9. Запроваджено структуру комплексного показника ефективності організації дорожнього руху для оцінки запропонованих заходів.
10. Проведено експертне оцінювання, розраховані вагові коефіцієнти для обраних показників ефективності ОДР.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Таран І.А., Новицький А.В., Литвин В.В. Анализ возможностей использования программного обеспечения PTV VISION VISSIM для моделирования транспортных и пешеходных потоков. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2015. №2 (219). С. 136-140.
2. Литвин В.В., Таран І.О., Кононенко К.С. Обґрунтування ефективності застосування кільцевого руху на вулично-дорожній мережі м. Дніпро у програмному середовищі PTV VISSIM. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2019. №2 (13). С. 95-107.
3. Законодавство України [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/4880> (Дата звернення: 22.10.19).
4. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / Бакуліч О.О. та ін.; за ред. В.П. Поліщука. Київ. 2016. 467 с.
5. Транспортне планування міст / В. П. Поліщук, О. В. Красильнікова, О.П. Дзюба ; за заг. ред. В. П. Поліщука. – К. : Знання України, 2014. – 371 с.
6. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія / Формальчик Є.Ю., Могила І.А., Трушевський В.Е., Гілевич В.В.; за ред. Є. Ю. Формальчика. Львів. 2018. 236 с.
7. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху / Гаврилов Е.В. та ін.; за ред. М.Ф. Дмитриченка. Київ. 2007. 452 с.
8. Организация и безопасность дорожного движения : учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. - М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 272 стр.
9. Клиновштейн Г.И. Организация дорожного движения [Текст]: учебник для вузов 5-е изд., перераб. и доп./Г.И. Клиновштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
10. Формування варіанта раціонального розташування АГНКС в містах: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01 / Кузнєцов Олександр Петрович; Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. - Х., 2008. – 20 с.
11. Анализ современных программных средств транспортного моделирования М. М. Бекмагамбетов, д.т.н., проф. / А. В. Кочетков, д.т.н., проф. *Автомобильный журнал* выпуск 6 от 2012 года.
12. Научная электронная библиотека [Електронний ресурс]. URL: <https://elibrary.ru> (Дата звернення: 10.09.19).
13. Патрульна поліція, статистика [Електронний ресурс]. URL: <https://patrol.police.gov.ua/statystyka> (Дата звернення: 07.11.19).
14. Kennedy J. (2005). Review of Accident Research at Roundabouts. *Transport Research Laboratory (TRL Limited), Wokingham, Berkshire*. 2005. 14.
15. Формальчик Є.Ю., Гілевич В.В. Порівняльна характеристика деяких показників проїзду регульованих і нерегульованих перехресть. *Вісник ХНАДУ*. 2010. №50. С. 48-51.

Додаток А
СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

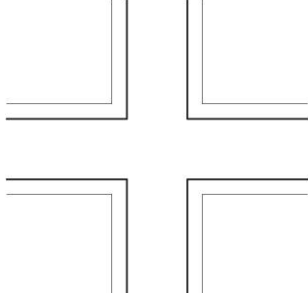
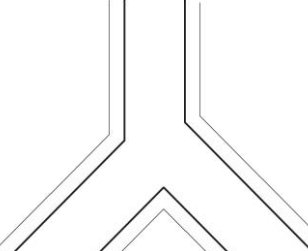
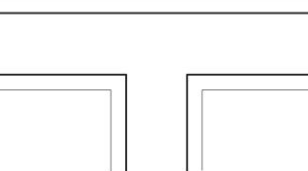
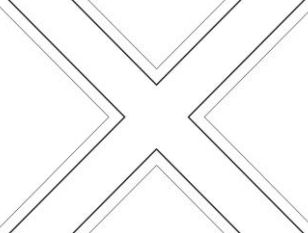
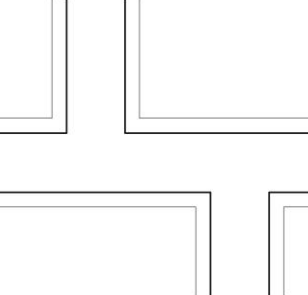
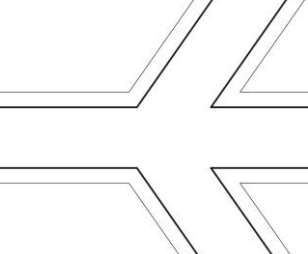
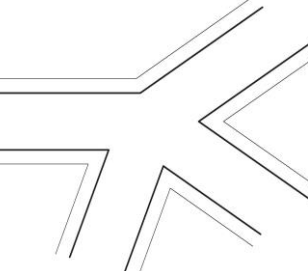
Таблиця А.1. – Схеми ВДМ

Графічний вигляд	Назва схеми
	Радіальна
	Радіально-кільцева
	Прямокутна
	Прямокутно-діагональна
	Трикутна
	Довільна

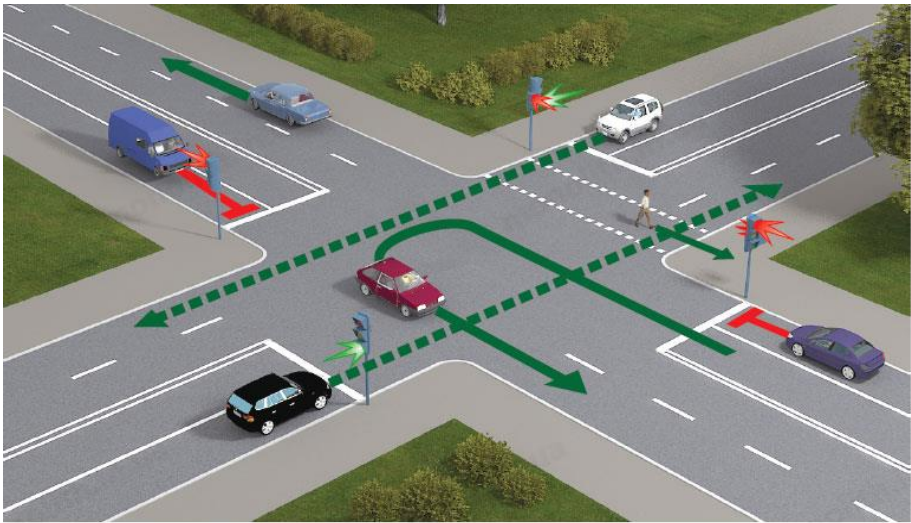
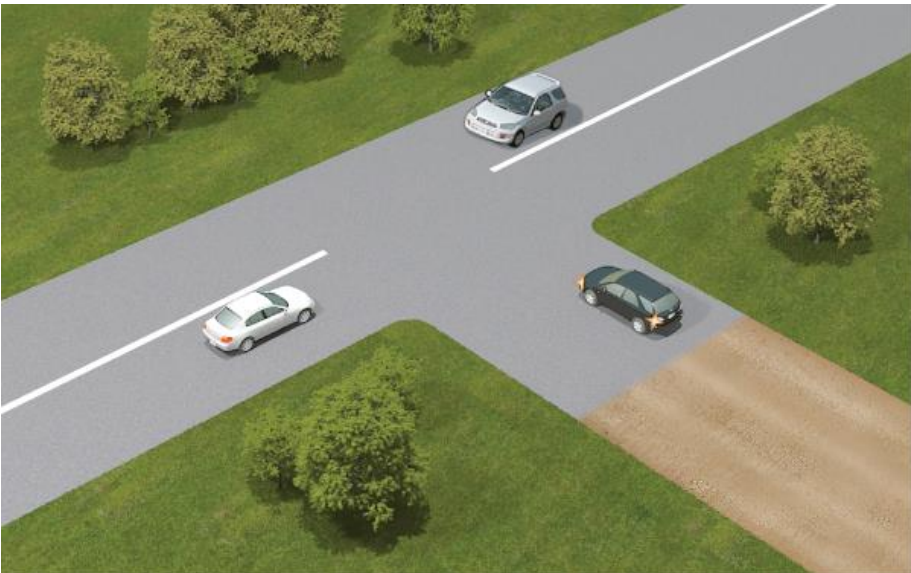
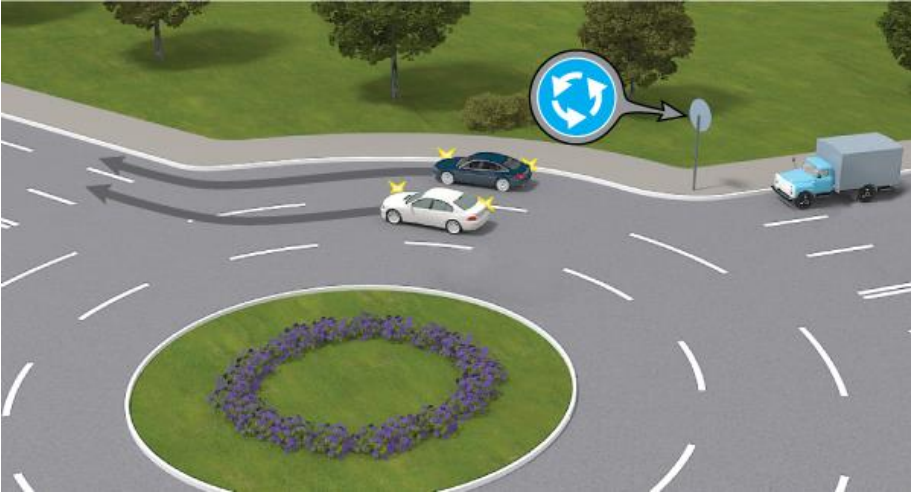
Таблиця А.2 – Класифікація міських вулиць і доріг згідно з ДБН 360-92**

Категорії доріг і вулиць	Основне призначення доріг і вулиць
МАГІСТРАЛЬНІ ДОРОГИ	
Безперервного руху	Швидкісний транспортний зв'язок поза житловою забудовою між віддаленими промисловими і сільбищними районами у найважливіших і значних містах; виходи на зовнішні автомобільні дороги, до аеропортів, великих зон масового відпочинку і поселень Додаток 7.1 (обов'язковий) у системі розселення. Пересікання з магістральними вулицями і дорогами у різних рівнях
Регульованого руху	Транспортний зв'язок між районами міста на окремих напрямках і ділянках переважно вантажного руху, що здійснюється за житловою забудовою, виходи на зовнішні автомобільні дороги, пересікання з вулицями і дорогами, як правило, на одному рівні
МАГІСТРАЛЬНІ ВУЛИЦІ ЗАГАЛЬНОМІСЬКОГО ЗНАЧЕННЯ	
Безперервного руху	Транспортний зв'язок між житловими, промисловими районами і громадськими центрами у найважливіших і значних містах, а також з іншими магістральними вулицями, міськими і зовнішніми автомобільними дорогами. Забезпечення руху транспорту по основних напрямках у різних рівнях
Регульованого руху	Транспортний зв'язок між житловими, промисловими районами і центрами міста, центрами планувальних районів; виходи на магістральні вулиці і дороги та зовнішні автомобільні дороги. Пересікання з магістральними вулицями і дорогами, як правило, в одному рівні
МАГІСТРАЛЬНІ ВУЛИЦІ РАЙОННОГО ЗНАЧЕННЯ	
Транспортно-пішохідні	Транспортний зв'язок між житловими районами, а також житловими і промисловими районами, громадськими центрами, виходи на інші магістральні вулиці
ВУЛИЦІ І ДОРОГИ МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ	
Житлові вулиці	Транспортний (без пропуску вантажного і громадського транспорту) і пішохідний зв'язок на території житлових районів, мікрорайонів, виходи на магістральні вулиці і дороги регульованого руху
Промислово-складські	Транспортний зв'язок легкового і вантажного транспорту у межах зони (районів), виходи на магістральні міські дороги
Пішохідні вулиці та дороги	Пішохідний зв'язок з місцями прикладення праці, установами і підприємствами обслуговування, у тому числі у межах громадських центрів, місцями відпочинку й пунктами зупинки громадського транспорту
Проїзди	Проїзд транспортних засобів до житлових і громадських будинків, установ, підприємств та Інших об'єктів міської забудови в середині районів, житлових кварталів
Велосипедні доріжки	Проїзд на велосипедах по вільних від інших видів транспортного руху трасах до місць відпочинку, громадських центрів, а у найважливіших і значних містах зв'язок у межах планувальних районів

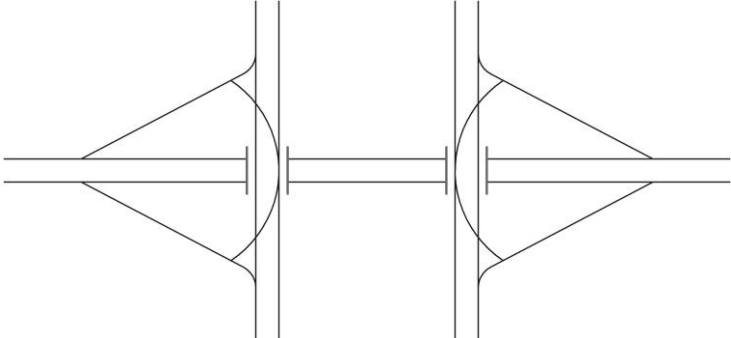
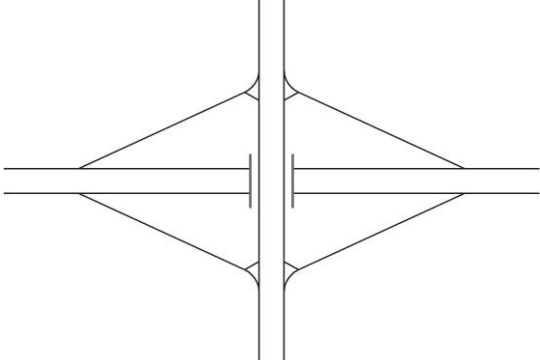
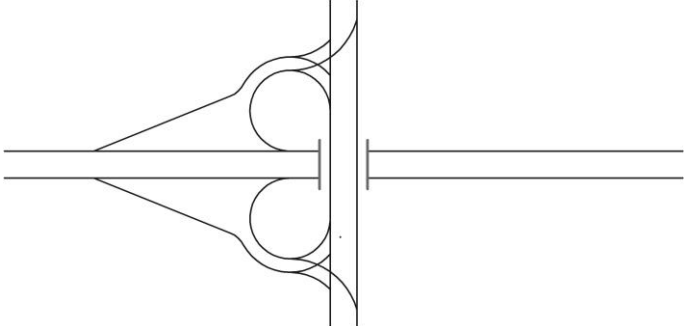
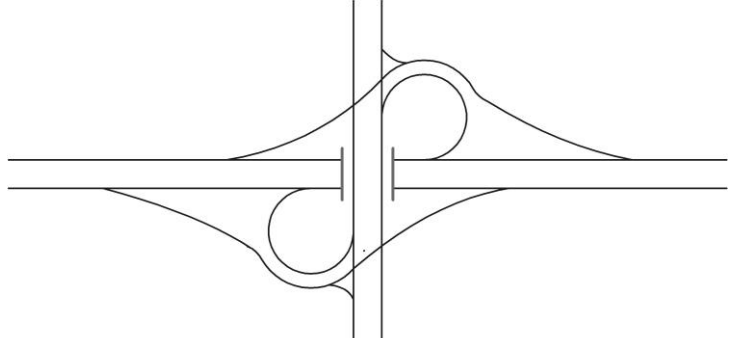
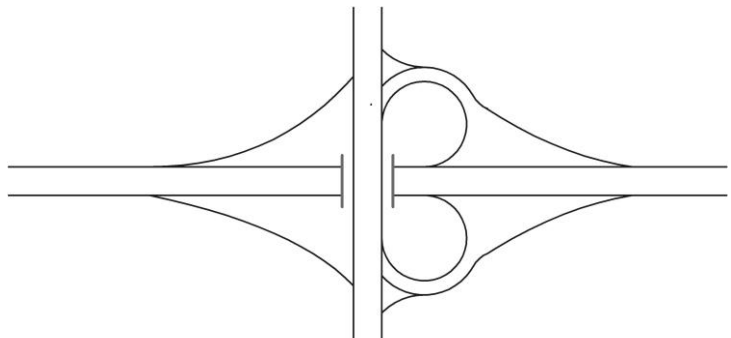
Таблиця А.3 – Основні види пересічень за конфігурацією

Графічний вигляд	Вид пересічення
	Пряме
	Y-подібне
	Т-подібне
	Х-подібне
	Змішане
	У вигляді тризуба
	Складне

Таблиця А.4 – Регульовані, не регульовані та саморегульовані перехрестя

Приклад	Вид перехрестя
	Регульоване перехрестя
	Нерегульоване перехрестя
	Саморегульоване перехрестя

Таблиця А.5 – Основні види пересічень за повнотою

Графічний вигляд	Назва
	Ромб
	
	Неповний «лист конюшини»
	Поліпшений «лист конюшини»
	

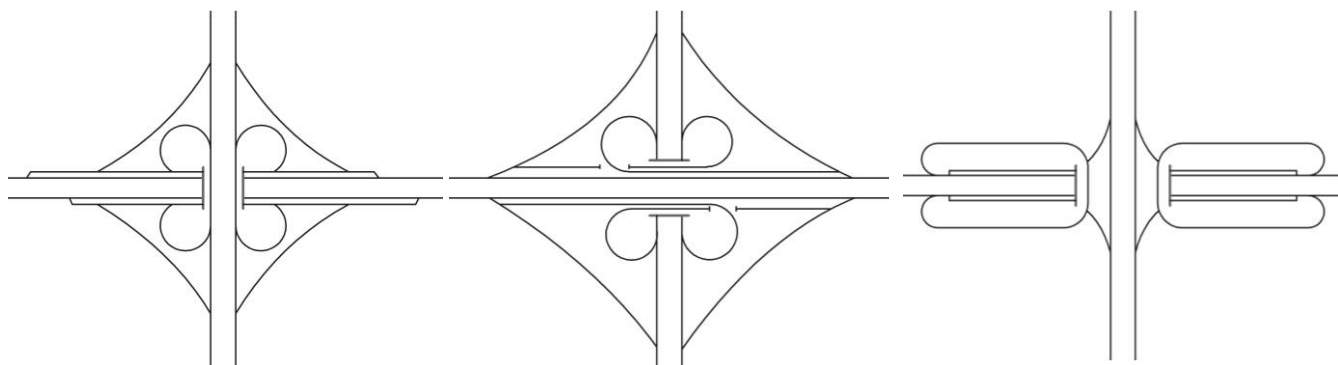


Рисунок А.1 – Повні перехрестя в різних рівнях:
а – «лист конюшини»; б – те ж, з перехідно-швидкісними смугами,
в – обтиснутий «лист конюшини»

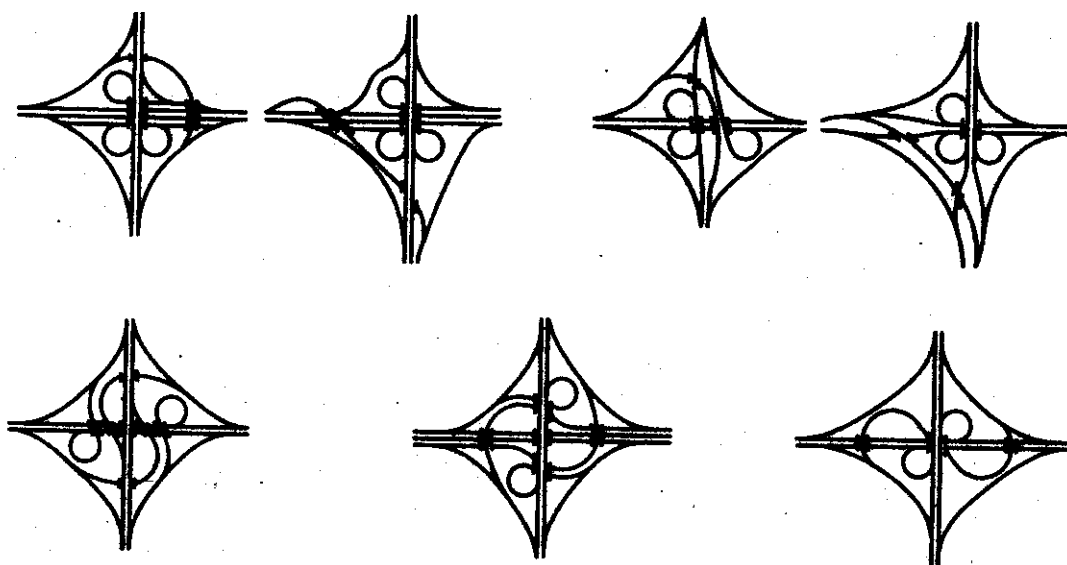


Рисунок А.2 – Повні перехрестя в різних рівнях з напівпрямими або прямими лівоповоротними з'їздами

Таблиця А.6 – Цілі, які висуваються під час проектування міських систем управління дорожнім рухом, та відповідні їм критерії якості

Мета керування	Критерії якості керування
Гарантування безпеки руху	Рівень аварійності на ВДМ
Підвищення рівня обслуговування учасників руху	Тривалість затримки Тривалість руху Середня швидкість руху Кількість зупинок Довжина черги перед перехрестям Рівномірність руху Експлуатаційні витрати
Підвищення використання пропускної здатності ВДМ	Рівень використання пропускної здатності ВДМ
Зменшення шкідливого впливу транспорту на довкілля	Рівень транспортного шуму Рівень забруднення довкілля відпрацьованими газами Витрати палива
Надійність керування	Максимальна швидкість руху Параметр нерівномірності руху (середньоквадратичне відхилення пришвидження автомобіля)



Рис.А.3 – ДТП на Донецькому шосе
за участю велосипедиста



Рис.А.4 – ДТП на Набережній Перемоги

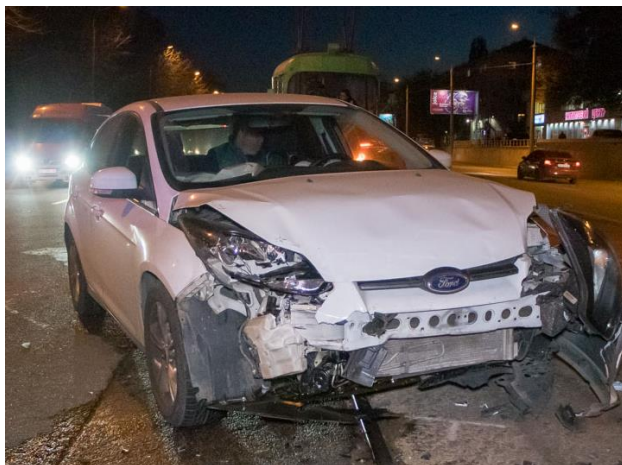


Рис.А.5 – ДТП на Богдана
Хмельницького



Рис.А.6 – ДТП біля Південного моста(в
салоні авто знаходилося 3 дітей)



Рис.А.7 – ДТП на вулиці Марії
Лисиченко



Рис.А.8 – ДТП на пересіченні вулиці
Кониського та Світлова

Таблиця А.7 – Статистика ДТП за 2019 рік по областям України

Регіон	Усього ДТП				ДТП з постраждалими							
	м.п.		п.п.		%		усього		загинуло		травмовано	
	м.п.	п.п.	п.п.	п.п.	%	%	м.п.	п.п.	м.п.	п.п.	м.п.	п.п.
АР Крим	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0
Вінницька	3223	3002	651	928	-6.9	-29.8	145	133	1167	865	-8.3	-25.9
Волинська	3132	2695	716	798	-14.0	-10.3	111	110	1057	884	-0.9	-16.4
Дніпропетровська	11203	10357	2008	2198	-7.6	-8.6	192	220	2791	2588	14.6	-7.3
Донецька	3534	3399	878	951	-3.8	-7.7	90	117	1220	1148	30.0	-5.9
Житомирська	4158	3738	924	1153	-10.1	-19.9	197	165	1437	1156	-16.2	-19.6
Закарпатська	2874	2819	606	633	-1.9	-4.3	84	126	812	761	50.0	-6.3
Запорізька	5923	5497	1159	1210	-7.2	-4.2	138	138	1620	1554	0.0	-4.1
Івано-Франківська	2935	2945	735	768	0.3	-4.3	122	127	1008	960	4.1	-4.8
Київська	11530	11474	1655	1601	-0.5	3.4	305	258	1995	2207	-15.4	10.6
Київ	42639	38073	2179	2556	-10.7	-14.7	180	139	2965	2524	-22.8	-14.9
Кіровоградська	1612	1705	397	450	5.8	-11.8	53	58	512	491	9.4	-4.1
Луганська	839	818	257	321	-2.5	-19.9	29	23	472	384	-20.7	-18.6
Львівська	11576	10779	2036	2405	-6.9	-15.3	319	292	3262	2722	-8.5	-16.6
Миколаївська	3865	3643	959	948	-5.7	1.2	111	107	1216	1300	-3.6	6.9
Одеська	14609	13594	2017	2255	-6.9	-10.6	260	273	2790	2410	5.0	-13.6
Полтавська	4083	3583	880	948	-12.2	-7.2	126	131	1245	1110	4.0	-10.8
Рівненська	2386	2306	565	692	-3.4	-18.4	117	110	866	684	-6.0	-21.0
Сумська	1853	1779	532	595	-4.0	-10.6	65	55	769	674	-15.4	-12.4
Тернопільська	2325	2222	421	576	-4.4	-26.9	75	84	847	551	12.0	-34.9
Харківська	12029	11461	1492	1470	-4.7	1.5	110	159	1912	1749	44.5	-8.5
Херсонська	3593	3068	747	875	-14.6	-14.6	147	113	1074	934	-23.1	-13.0
Хмельницька	3249	2979	685	837	-8.3	-18.2	100	97	1120	902	-3.0	-19.5
Черкаська	4064	3652	786	1013	-10.1	-22.4	156	125	1310	1025	-19.9	-21.8
Чернігівська	2728	2240	585	692	-17.9	-15.5	132	108	810	775	-18.2	-4.3
Чернівецька	2564	2292	424	347	-10.6	22.2	68	82	400	526	20.6	31.5
Севастополь	0	0	0	0			0	0	0	0		
ЗАГАЛОМ	162526	150120	24294	27220	-7.6	-10.7	3432	3350	34677	30884	-2.4	-10.9
ЗА ДОБУ	445	411	67	75	-7.6	-10.7	9	9	95	85	0.0	-10.5

Таблиця А.8 – Статистика ДТП з постраждалими за 2019 рік за причинами скоєння

Причини скоєння ДТП	ДТП з постраждалими									
	ДТП			загинуло			травмовано			
	м.п.	п.п.	%	м.п.	п.п.	%	м.п.	п.п.	%	
Керування транспортним засобом у нетверезому стані	1137	968	-14.9	113	87	-23.0	1547	1306	-15.6	
Певелищення встановленої швидкості	380	275	-27.6	64	52	-18.8	479	352	-26.5	
Певелищення безпечної швидкості	4730	4939	4.4	652	655	0.5	6419	6596	2.8	
Невиконання вимог сигналів регулювання	245	265	8.2	2	2	0.0	349	375	7.4	
Порушення правил перевезення пасажирів	66	52	-21.2	1	0	зниж	70	57	-18.6	
Порушення правил маневрування	3250	3138	-3.4	197	182	-7.6	4169	3994	-4.2	
Порушення правил проїзду пішохідних переходів	1052	915	-13.0	36	29	-19.4	1112	969	-12.9	
Порушення правил проїзду зупинок громадського транспорту	9	5	-44.4	0	1	ріст	10	4	-60.0	
Порушення правил користування освітлювальними приладами	23	21	-8.7	10	1	-90.0	21	28	33.3	
Порушення правил надання безперешкодного проїзду	293	201	-31.4	8	24	200.0	421	321	-23.8	
Порушення правил зупинки і стоянки транспортного засобу	36	41	13.9	4	3	-25.0	37	49	32.4	
Порушення правил проїзду залізничних переїздів	46	24	-47.8	12	8	-33.3	49	37	-24.5	
Порушення правил перевезення вантажів	18	13	-27.8	1	1	0.0	22	16	-27.3	
Порушення правил буксирування	7	5	-28.6	0	0		10	6	-40.0	
Порушення правил обгону	286	253	-11.5	31	32	3.2	443	390	-12.0	
Вїзд на смугу зустрічного руху	640	574	-10.3	131	126	-3.8	1171	1038	-11.4	
Порушення правил проїзду перехрестя	1849	1687	-8.8	57	51	-10.5	2696	2478	-8.1	
Управління несправним транспортним засобом	38	47	23.7	2	3	50.0	51	61	19.6	
Недодержання дистанції	1512	1482	-2.0	57	58	1.8	2006	1939	-3.3	
Перевтома, сон за кермом	67	60	-10.4	15	7	-53.3	96	75	-21.9	
Порушення правил проїзду великогабаритних та великогабаритних транспортних засобів	2	3	50.0	0	0		2	3	50.0	
Перехід у невідповідному місці	684	534	-21.9	98	76	-22.4	621	477	-23.2	
Пішоходи Невиконання вимог сигналів регулювання	65	38	-41.5	4	0	зниж	66	40	-39.4	
Неочікуваний вихід на проїзну частину	400	286	-28.5	56	54	-3.6	357	239	-33.1	
Пішохід у нетверезому стані	132	91	-31.1	19	9	-52.6	116	86	-25.9	
Порушення техніки безпеки пасажиром	28	18	-35.7	4	2	-50.0	26	17	-34.6	
Порушення правил утримання автоторі та вулиць	13	7	-46.2	3	2	-33.3	18	12	-33.3	
Порушення вимог ПДР погоничем тварин	2	7	250.0	1	2	100.0	1	10	900.0	

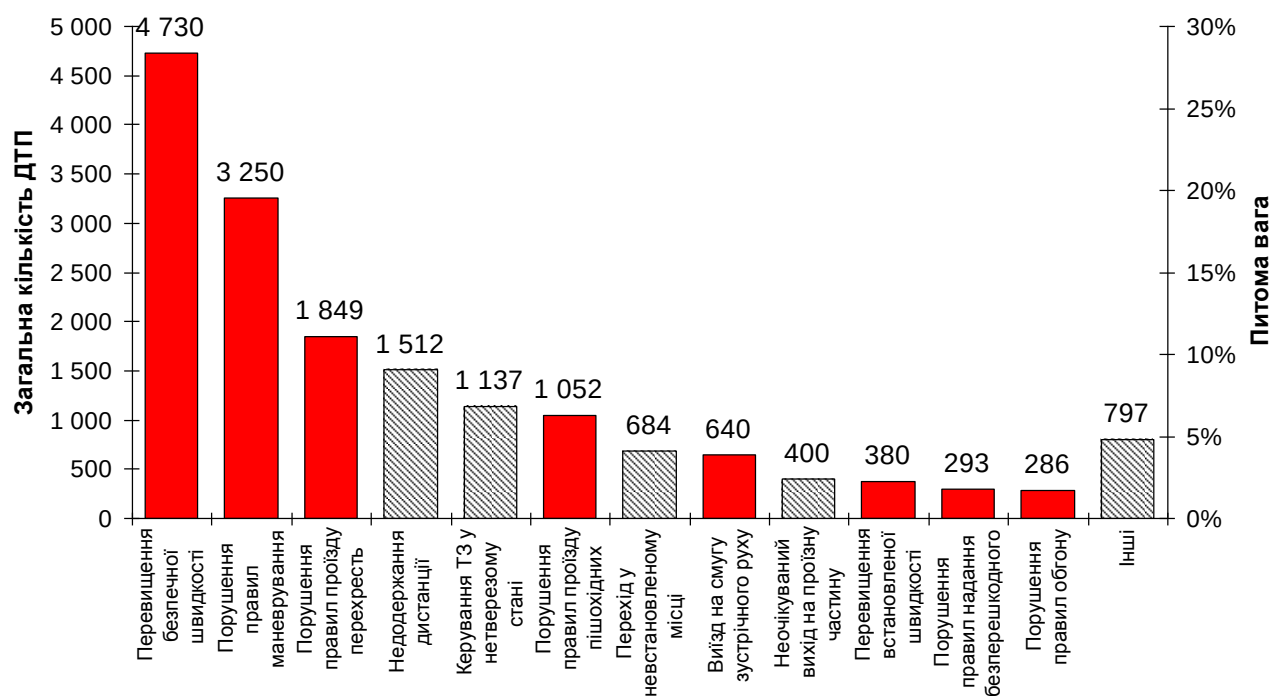


Рисунок А.9 – Аналіз причин скоєння ДТП із постраждалими в Україні за період з 01.01.2019 по 31.12.2019

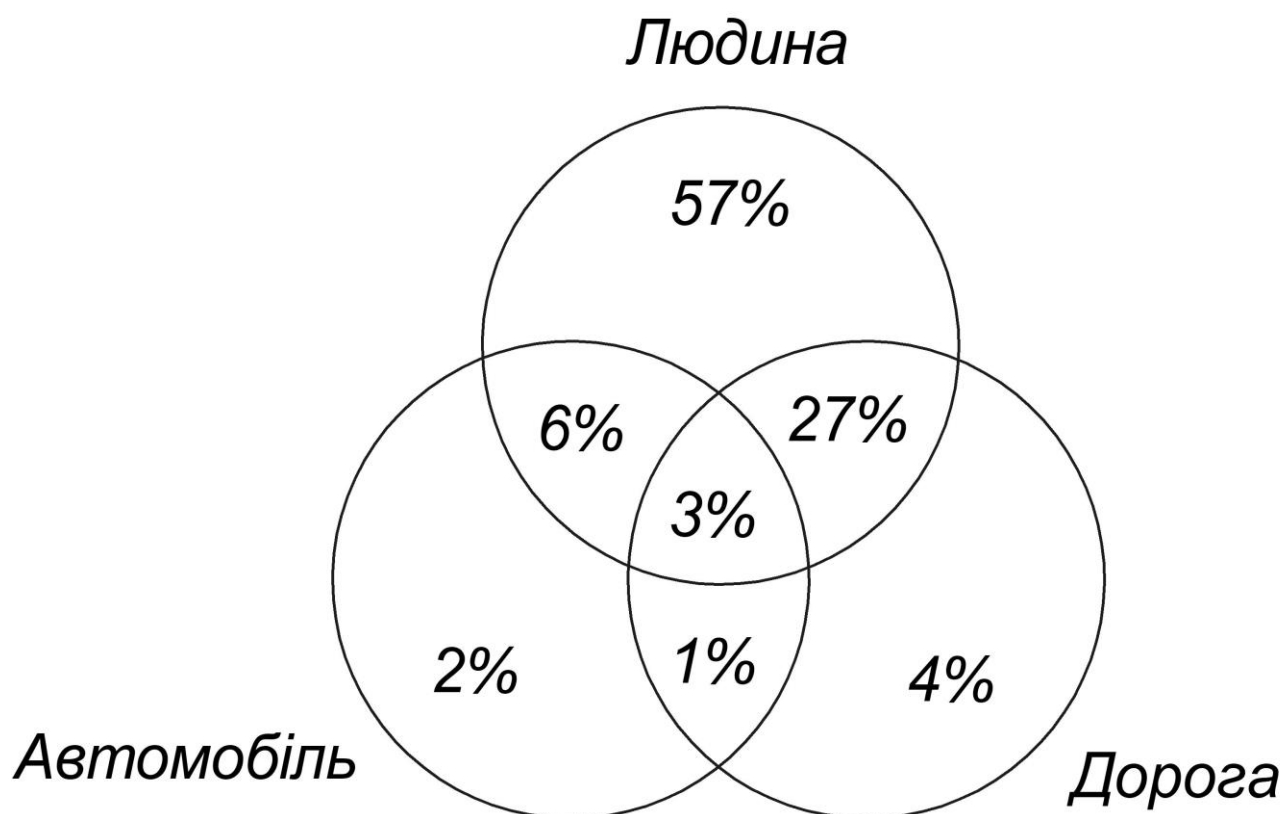


Рисунок А.10 – Роль різних факторів як причин ДТП

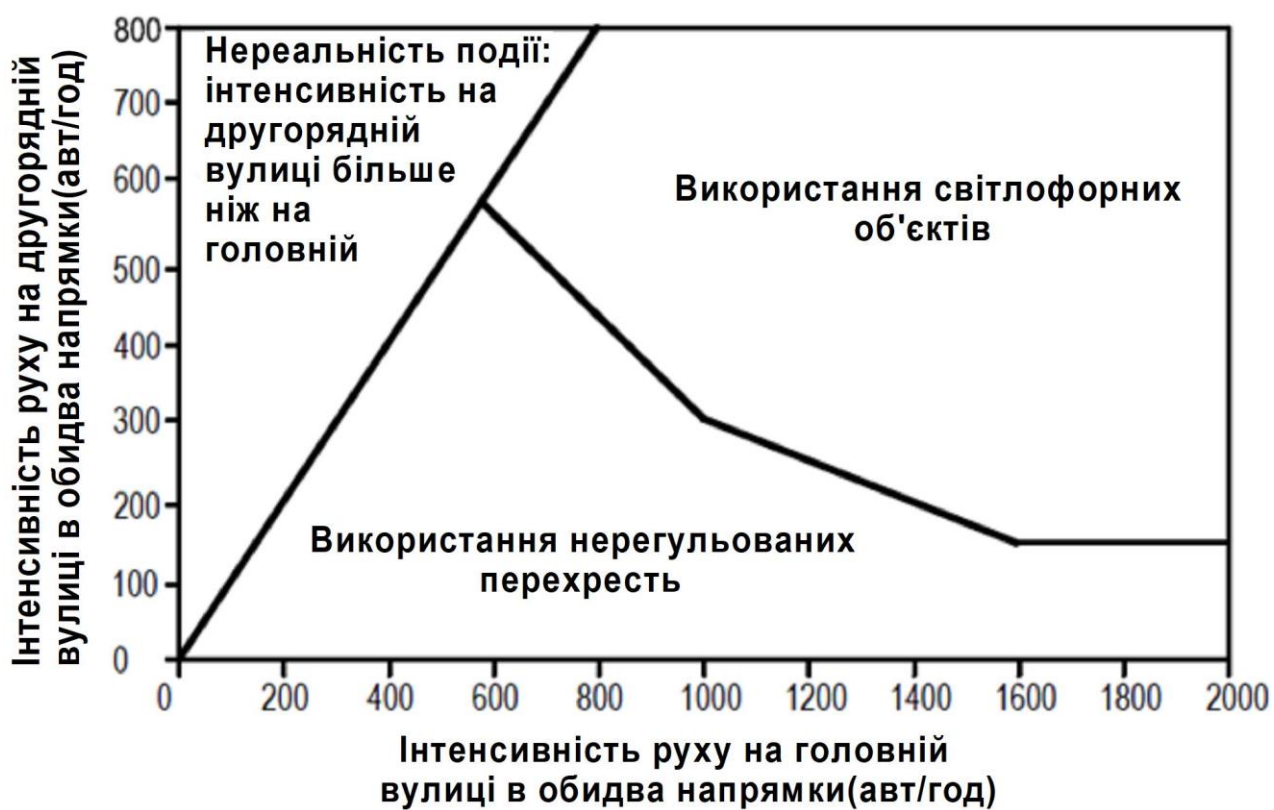


Рисунок А.11 – Умови використання різноманітних видів ОДР на перехрестях



Рисунок А.12 – Приклади дорожніх знаків в Україні

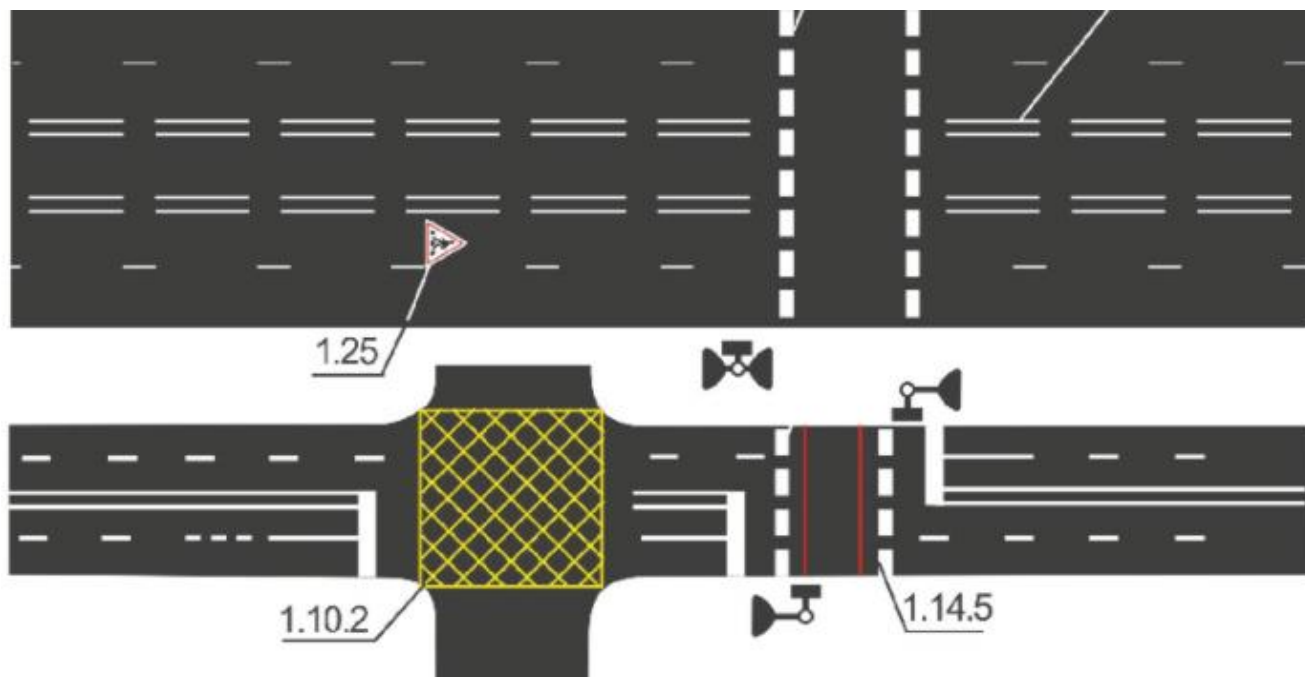


Рисунок А.13 – Приклади дорожньої розмітки в Україні

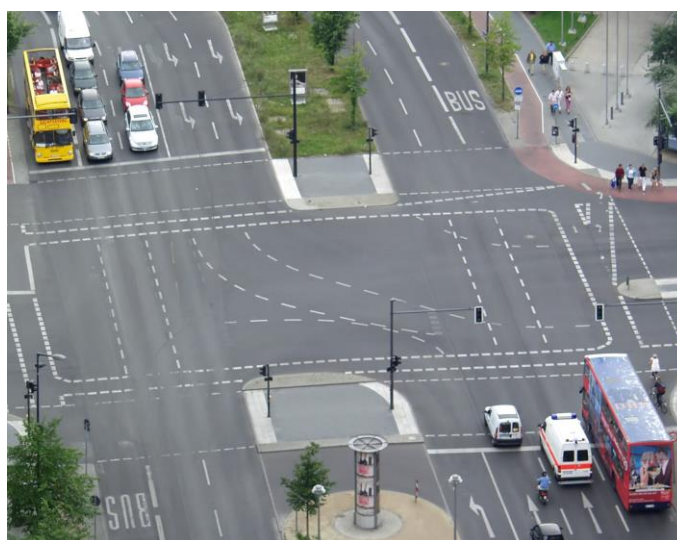


Рисунок А.14 – Приклад нанесення горизонтальної розмітки

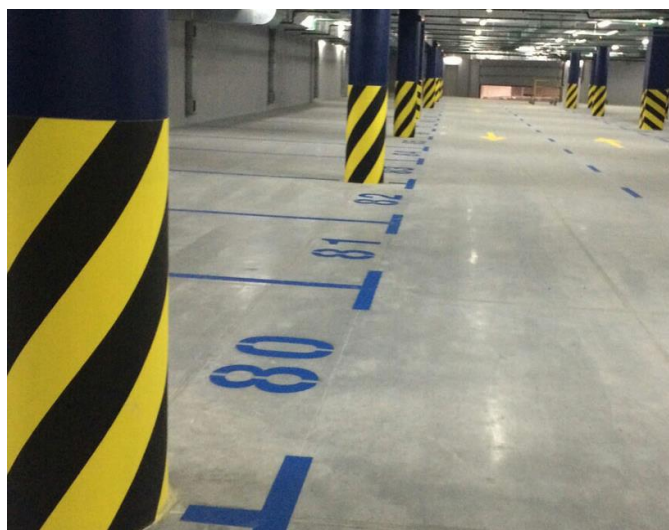


Рисунок А.15 – Приклад нанесення вертикальної розмітки



Рисунок А.16 – Транспортний світлофор



Рисунок А.17 – Пішохідний світлофор



Рисунок А.18 – Односекційний світлофор

Рисунок А.19 –
Двосекційний світлофорРисунок А.20 –
Трисекційний світлофорРисунок А.21 –
Трисекційний світлофор
з додатковою секцією

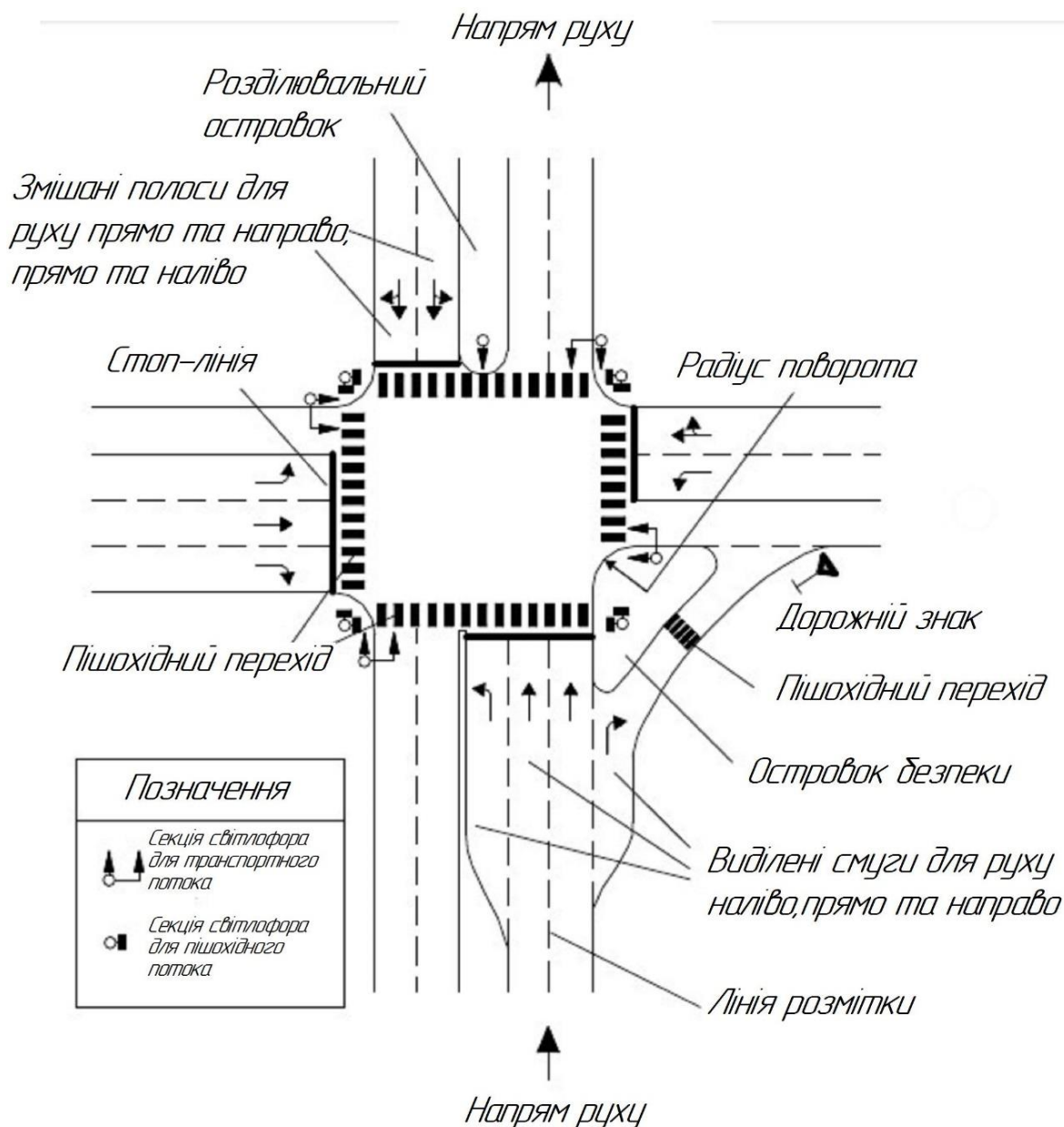


Рисунок А.22 – Геометричні елементи регульованого перехрестя та елементи керування транспортними та пішохідними потоками

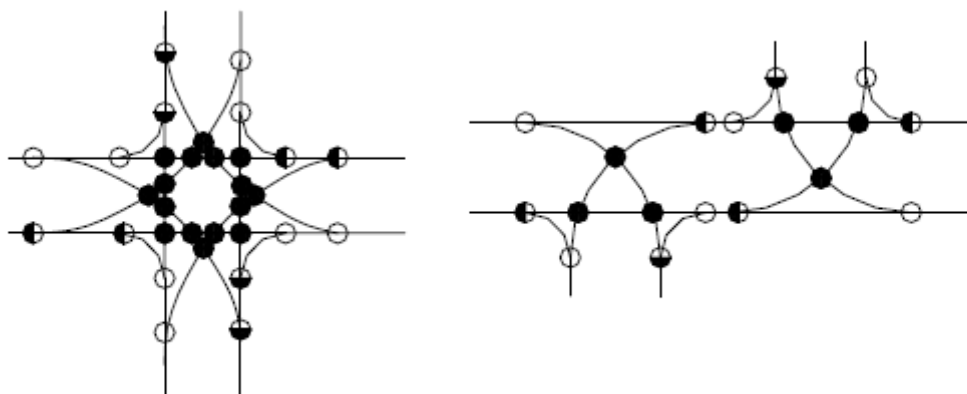


Рисунок А.23 – Конфліктні точки перетину, злиття і розгалуження транспортних потоків на перехрестях доріг

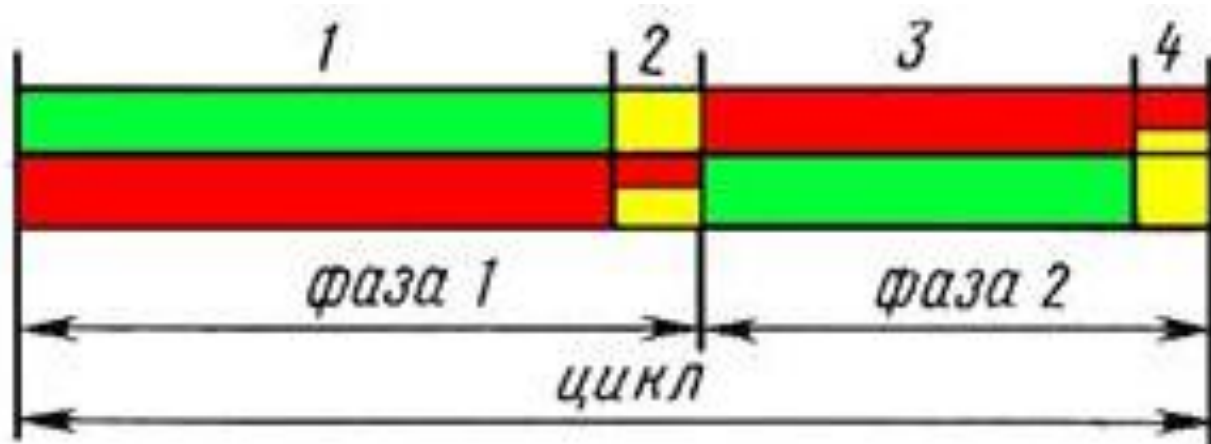


Рисунок А.24 – Цикл світлофорного регулювання з одним проміжним тактом

Додаток Б

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

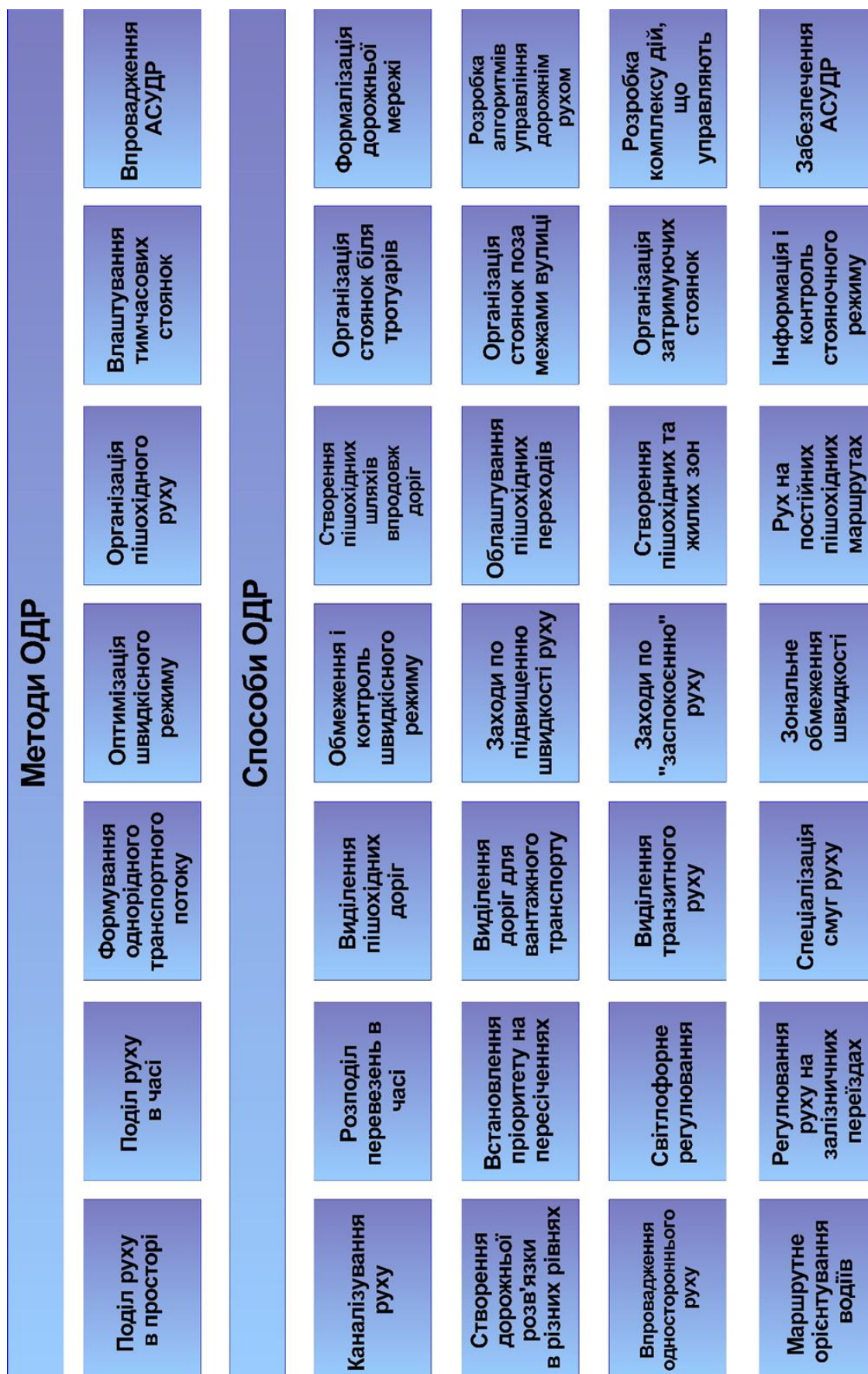


Рисунок Б.1 – Основні методи і способи організації дорожнього руху

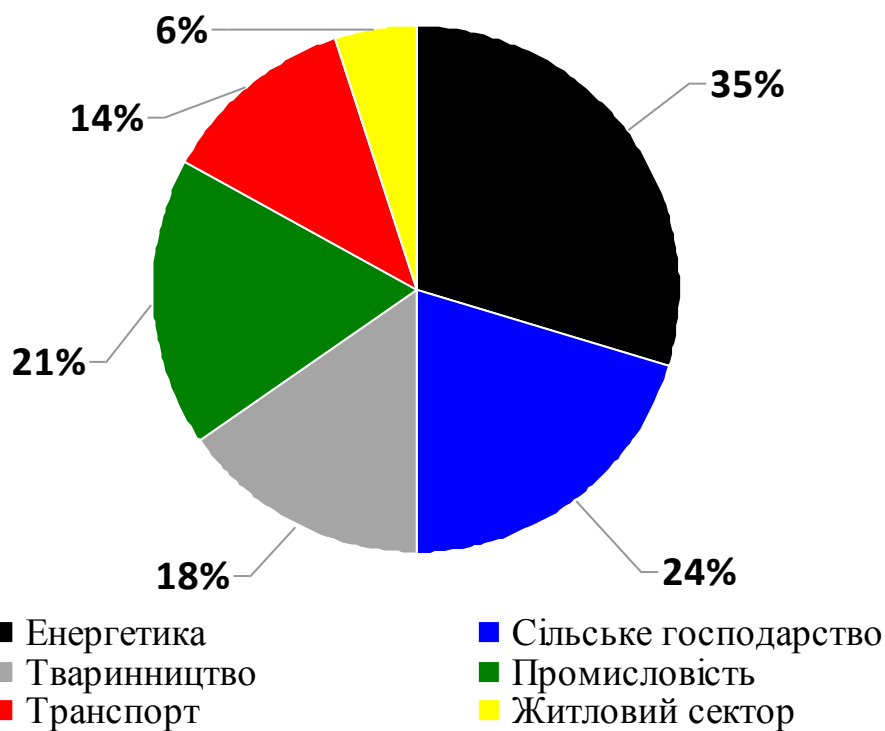


Рисунок Б.2 – Основні джерела шкідливих викидів у атмосферу



Рисунок Б.3 – Структура соціально-економічних збитків від ДТП

Таблиця Б.1 – Результати розрахунків обернених рангів та їх питомої ваги

№	Перехрестя	Сума рангів $\sum R_i$	Обернена сума рангів $\sum R_i^*$	Питома вага
1	вул. 20-річ. Перемоги – вул. Електрична	495	425	2,05%
2	вул. 20-річ. Перемоги – вул. Космонавтів	520	400	1,93%
3	вул. Байкальська – просп. Газети «Правда»	109	811	3,92%
4	вул. Білостоцького – просп. Газети «Правда»	66	854	4,13%
5	вул. Воронцова – вул. Каруни	257	663	3,20%
6	вул. Героїв Сталінграда – Запорізьке шосе	696	224	1,08%
7	вул. Журналістів – вул. Вінокурова	283	637	3,08%
8	вул. Кантемирівська – вул. Волкова	611	309	1,49%
9	вул. Кантемирівська – вул. Електрична	561	359	1,73%
10	вул. Каруни – вул. Луговська	704	216	1,04%
11	вул. Київська – вул. Криворізька	780	140	0,68%
12	вул. Космічна - Запорізьке шосе	207	713	3,44%
13	вул. Космічна – Набережна Перемоги	118	802	3,87%
14	вул. Красногорська – вул. Рощинська	410	510	2,46%
15	вул. Крилова – вул. Вінокурова	382	538	2,60%
16	вул. Калинова – вул. Янтарна	138	782	3,78%
17	вул. Маліновського – АЗС	387	533	2,57%
18	вул. Маліновського – пр. Газети «Правда»	73	847	4,09%
19	вул. Моторна – вул. Передова	582	338	1,63%
20	вул. Осіння – пр. Газети «Правда»	59	861	4,16%
21	вул. Ленінградська – вул. Леніна	273	647	3,13%
22	вул. Паникахи – Запорізьке шосе	357	563	2,72%
23	вул. Передова – Київська траса	436	484	2,34%
24	вул. Радгоспна – просп. Газети «Правда»	283	637	3,08%
25	Донецьке шосе – вул. Березинська	172	748	3,61%
26	Донецьке шосе – вул. Передова	727	193	0,93%
27	Заводська набережна – вул. Горького	166	754	3,64%
28	Заводська набережна – вул. Павлова	203	717	3,46%
29	Кайдакський міст – Заводська набережна	86	834	4,03%
30	Набережна Леніна – вул. Метробудівська	569	351	1,70%
31	Набережна Леніна – вул. Серова	749	171	0,83%
32	Південний міст – вул. Гаванська	524	396	1,91%
33	просп. Воронцова – вул. Луговська	785	135	0,65%
34	просп. Гагаріна – просп. К. Маркса	737	183	0,88%
35	просп. Кірова – просп. Ілліча	731	189	0,91%
36	просп. Кірова – вул. Титова	760	160	0,77%
37	просп. Металургів – вул. Криворізька	486	434	2,10%
38	просп. Петровського – вул. Павлова	256	664	3,21%
39	просп. Пушкіна – просп. Кірова	776	144	0,70%
40	просп. Пушкіна – вул. Робоча	725	195	0,94%
41	Самарський міст – вул. Томська	435	485	2,34%
42	вул. Київська – вул. Горна	741	179	0,86%
43	вул. Криворізька – вул. Робоча	735	185	0,89%
44	вул. Передова – вул. Вітчизняна	800	120	0,58%
45	вул. Чкалова – вул. К. Лібкнехта	750	170	0,82%
СУМА		20 700	20 700	100,00%

Таблиця Б.2 – Результати виконаного АВС-аналізу
потенційних об'єктів дослідження

№	№	Перехрестя	Питома вага	Інтегральний %	Група
1	20	вул. Осіння – пр. Газети «Правда»	4,16%	4,16%	Група А
2	4	вул. Білостоцького–просп. Газети «Правда»	4,13%	8,29%	
3	18	вул. Маліновського – пр. Газети «Правда»	4,09%	12,38%	
4	29	Кайдакський міст – Заводська набережна	4,03%	16,41%	
5	3	вул. Байкальська – просп. Газети «Правда»	3,92%	20,32%	
6	13	вул. Космічна – Набережна Перемоги	3,87%	24,20%	
7	16	вул. Калинова – вул. Янтарна	3,78%	27,98%	
8	27	Заводська набережна – вул. Горького	3,64%	31,62%	
9	25	Донецьке шосе – вул. Березинська	3,61%	35,23%	
10	28	Заводська набережна – вул. Павлова	3,46%	38,70%	
11	12	вул. Космічна - Запорізьке шосе	3,44%	42,14%	
12	38	просп. Петровського – вул. Павлова	3,21%	45,35%	
13	5	вул. Воронцова – вул. Каруни	3,20%	48,55%	
14	21	вул. Ленінградська – вул. Леніна	3,13%	51,68%	
15	7	вул. Журналістів – вул. Вінокурова	3,08%	54,75%	
16	24	вул. Радгоспна – просп. Газети «Правда»	3,08%	57,83%	
17	22	вул. Паникахи – Запорізьке шосе	2,72%	60,55%	
18	15	вул. Крилова – вул. Вінокурова	2,60%	63,15%	
19	17	вул. Маліновського – АЗС	2,57%	65,72%	
20	14	вул. Красногорська – вул. Рошинська	2,46%	68,19%	
21	41	Самарський міст – вул. Томська	2,34%	70,53%	
22	23	вул. Передова – Київська траса	2,34%	72,87%	
23	37	просп. Металургів – вул. Криворізька	2,10%	74,97%	
24	1	вул. 20-річ. Перемоги – вул. Електрична	2,05%	77,02%	
25	2	вул. 20-річ. Перемоги – вул. Космонавтів	1,93%	78,95%	
26	32	Південний міст – вул. Гаванська	1,91%	80,86%	Група Б
27	9	вул. Кантемирівська – вул. Електрична	1,73%	82,60%	
28	30	Набережна Леніна – вул. Метробудівська	1,70%	84,29%	
29	19	вул. Моторна – вул. Передова	1,63%	85,93%	
30	8	вул. Кантемирівська – вул. Волкова	1,49%	87,42%	
31	6	вул. Героїв Сталінграда – Запорізьке шосе	1,08%	88,50%	
32	10	вул. Каруни – вул. Луговська	1,04%	89,55%	
33	40	просп. Пушкіна – вул. Робоча	0,94%	90,49%	
34	26	Донецьке шосе – вул. Передова	0,93%	91,42%	
35	35	просп. Кірова – просп. Ілліча	0,91%	92,33%	
36	43	вул. Криворізька – вул. Робоча	0,89%	93,23%	
37	34	просп. Гагаріна – просп. К. Маркса	0,88%	94,11%	
38	42	вул. Київська – вул. Горна	0,86%	94,98%	
39	31	Набережна Леніна – вул. Серова	0,83%	95,80%	Група С
40	45	вул. Чкалова – вул. К. Лібкнехта	0,82%	96,62%	
41	36	просп. Кірова – вул. Титова	0,77%	97,40%	
42	39	просп. Пушкіна – просп. Кірова	0,70%	98,09%	
43	11	вул. Київська – вул. Криворізька	0,68%	98,77%	
44	33	просп. Воронцова – вул. Луговська	0,65%	99,42%	
45	44	вул. Передова – вул. Вітчизняна	0,58%	100,00%	
СУМА			100,00%		

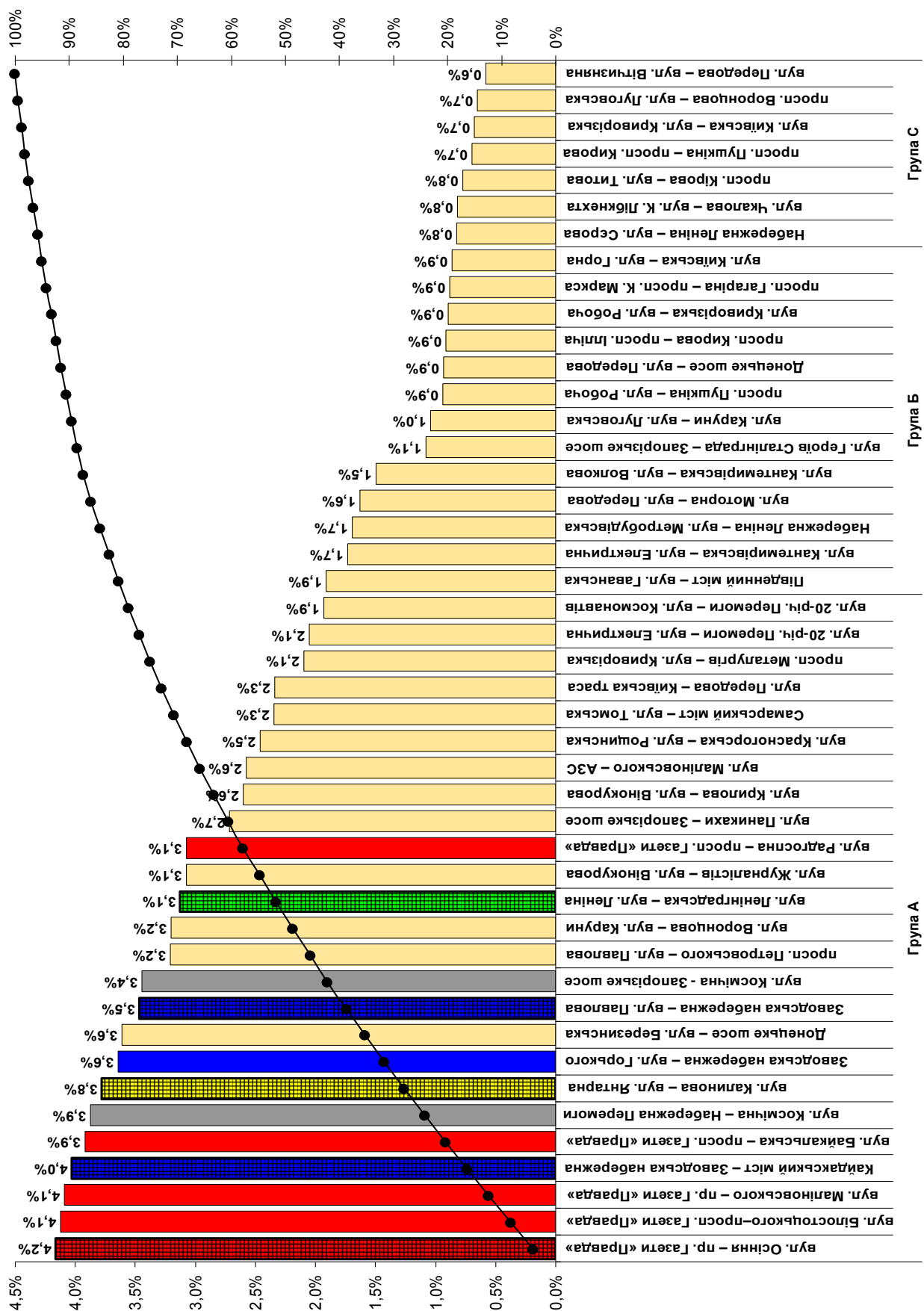


Рисунок Б.4 – Результати виконаного ABC-аналізу потенційних об'єктів дослідження



Рисунок Б.5 – Задачі, що може виконувати VISSIM



Рисунок Б.6 – Алгоритм створення транспортної моделі у середовищі VISSIM

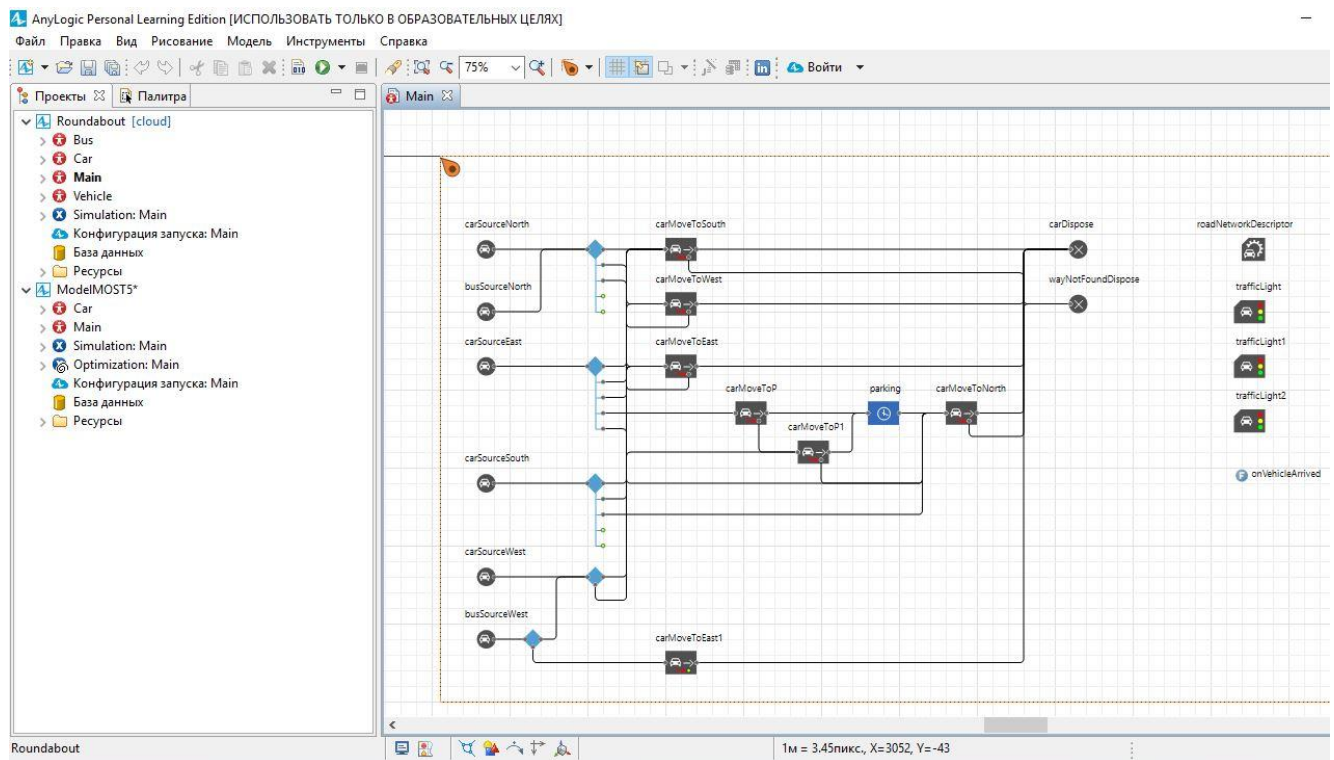


Рисунок Б.7 – Структура імітаційної моделі перехрестя у середовищі AnyLogic

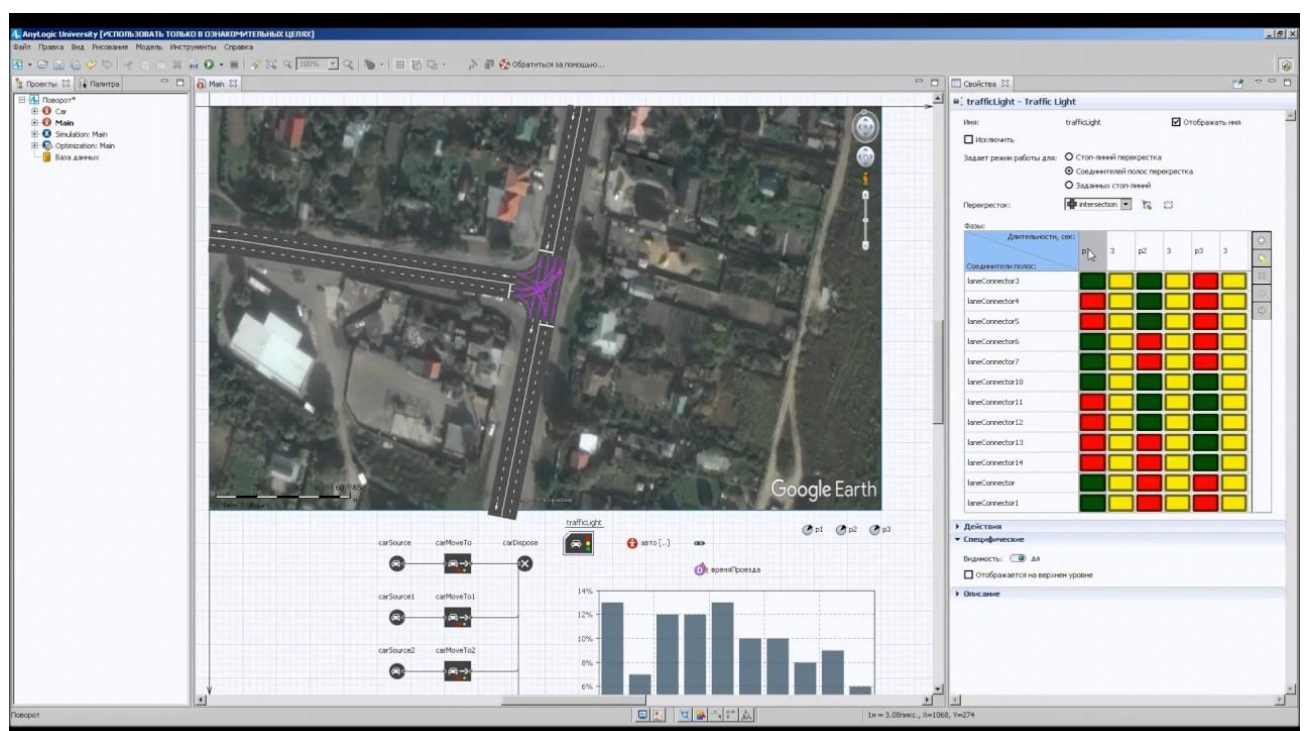


Рисунок Б.8 – Етапи побудови моделі перехрестя у середовищі AnyLogic

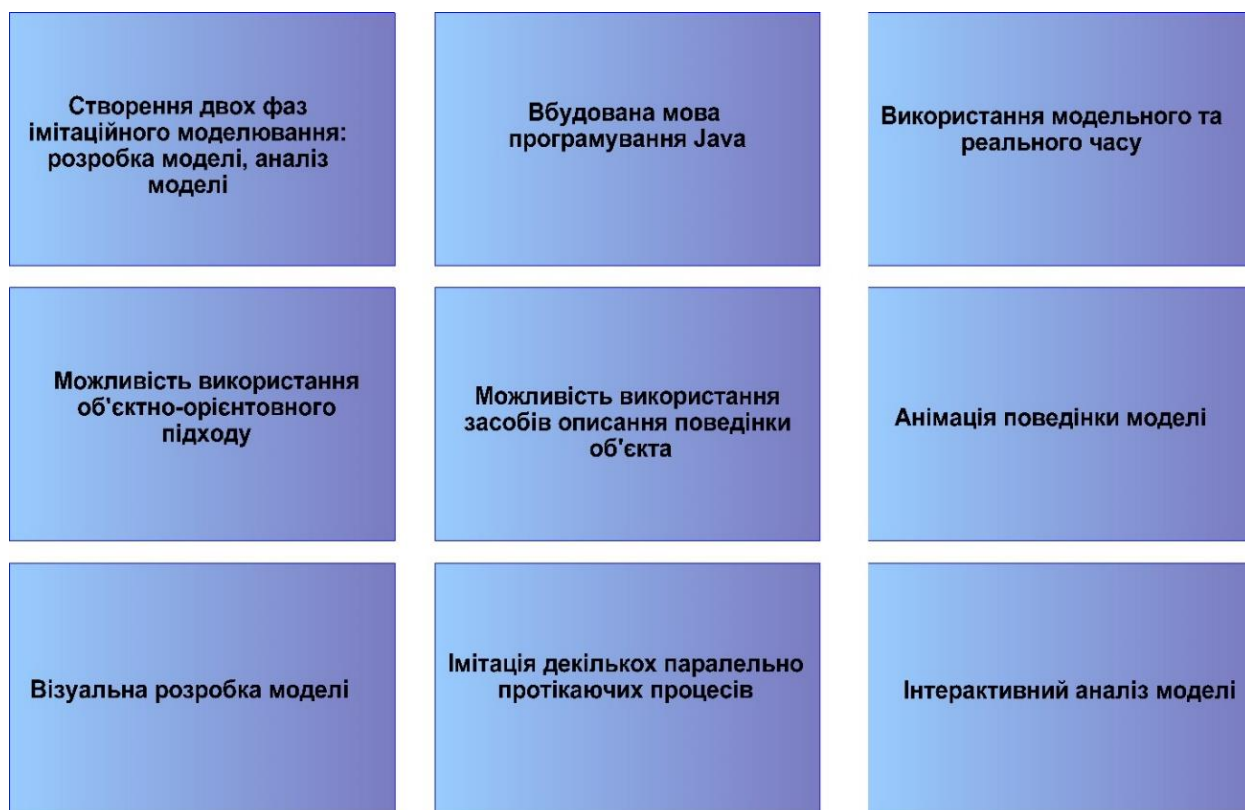


Рисунок Б.9 – Можливості, які надає середовище AnyLogic

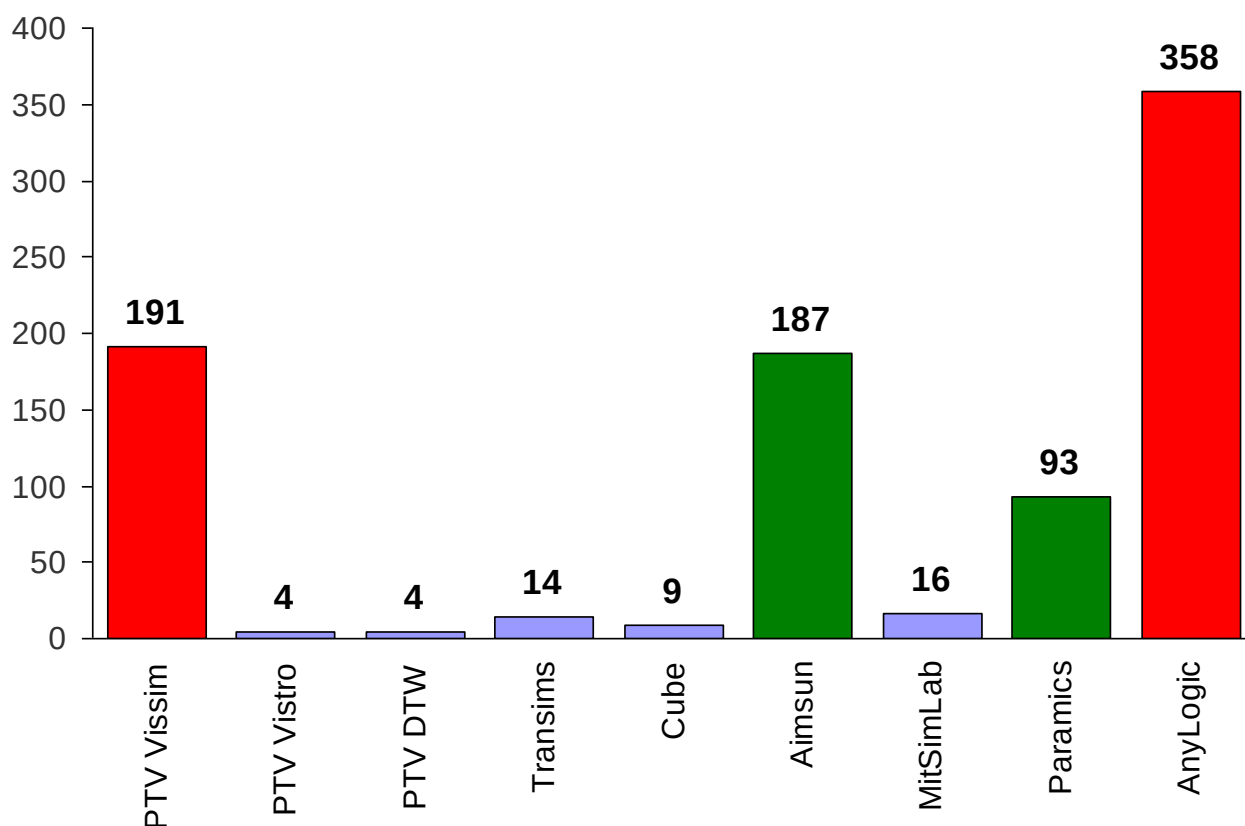


Рисунок Б.10 – Кількість публікацій із згадками про використання пакетів імітаційного моделювання на ресурсах наукової електронної бібліотеки eLIBRARY.RU за 2010-2019 р.р.

Додаток В
МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВДМ М. ДНІПРО

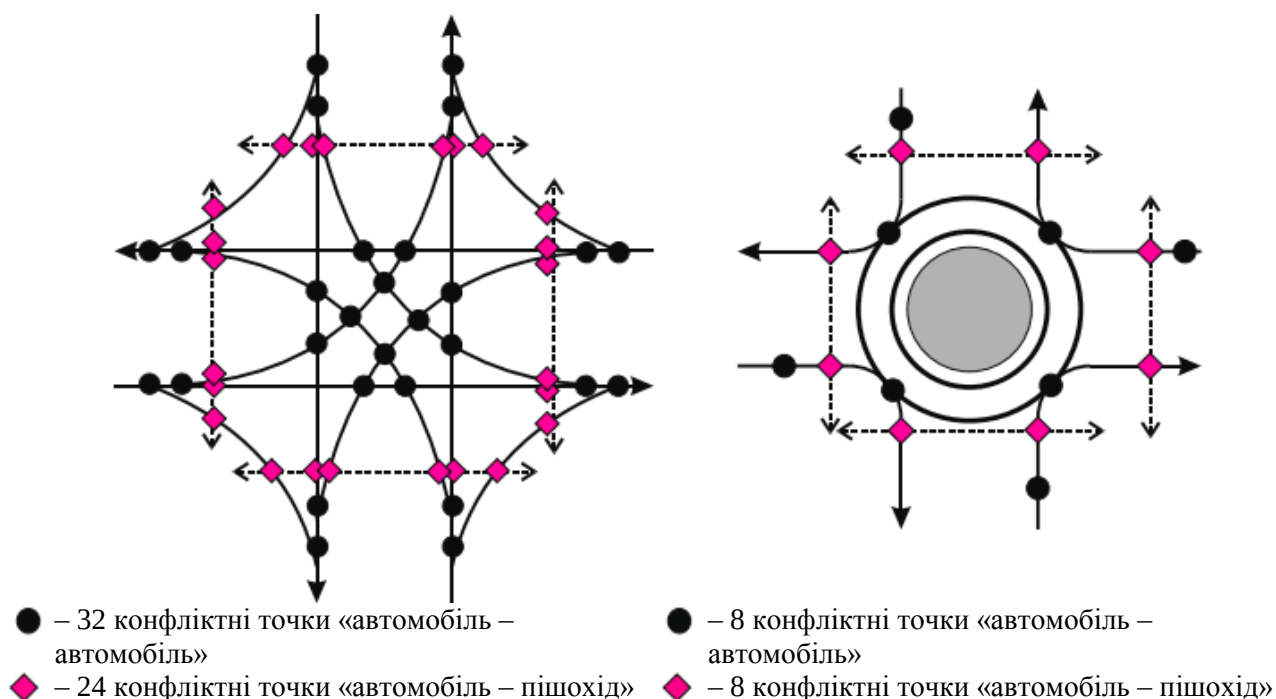


Рисунок В.1 – Кількість конфліктних точок на нерегульованому і кільцевому перетинах



Рисунок В.2 – Основні елементи сучасного кільцевого перетину (1 – припіднятий центральний острівець; 2 – апро́н (*apron, truck apron*); 3 – кільцева проїжджа частина; 4 – двосмуговий вхід на кільцеве перетин із розміткою *yield* (поступися дорогою); 5 – припіднятий розділювальний острівець (*splitter island*); 6 – пішеходний перехід; 7 – ландшафтний буфер



Рисунок В.3 – Зовнішній вигляд Т-го перехрестя вул. Наб. Заводська – вул. Павлова

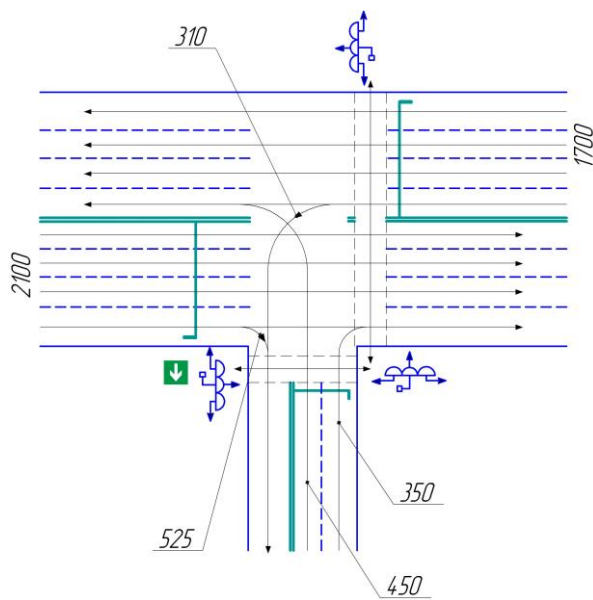


Рисунок В.4 – Схема перехрестя

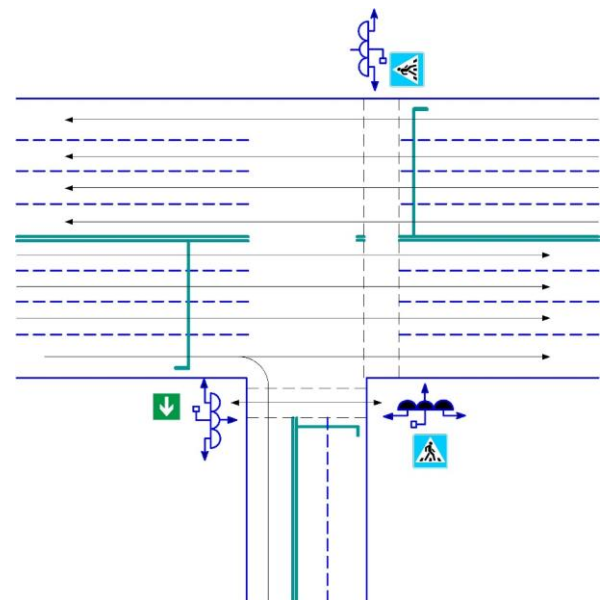


Рисунок В.5 – Перша фаза роз'їзду

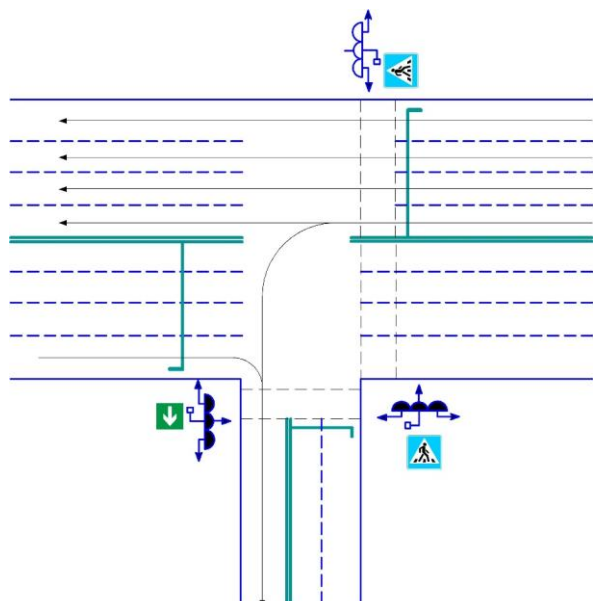


Рисунок В.6 – Друга фаза роз'їзду

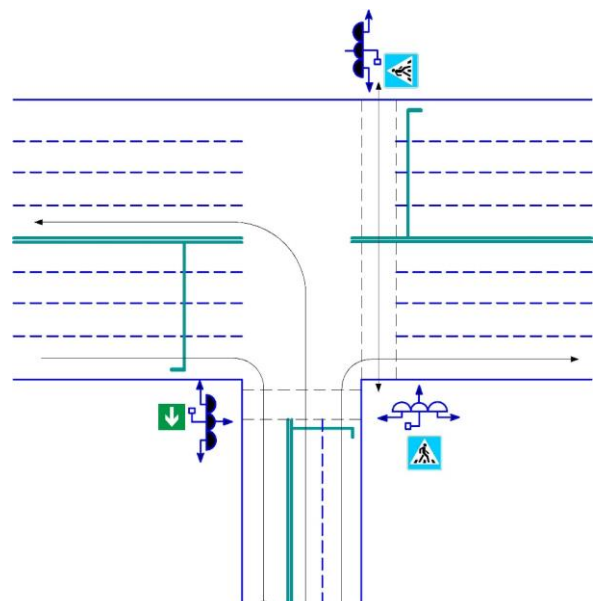


Рисунок В.7 – Третя фаза роз'їзду

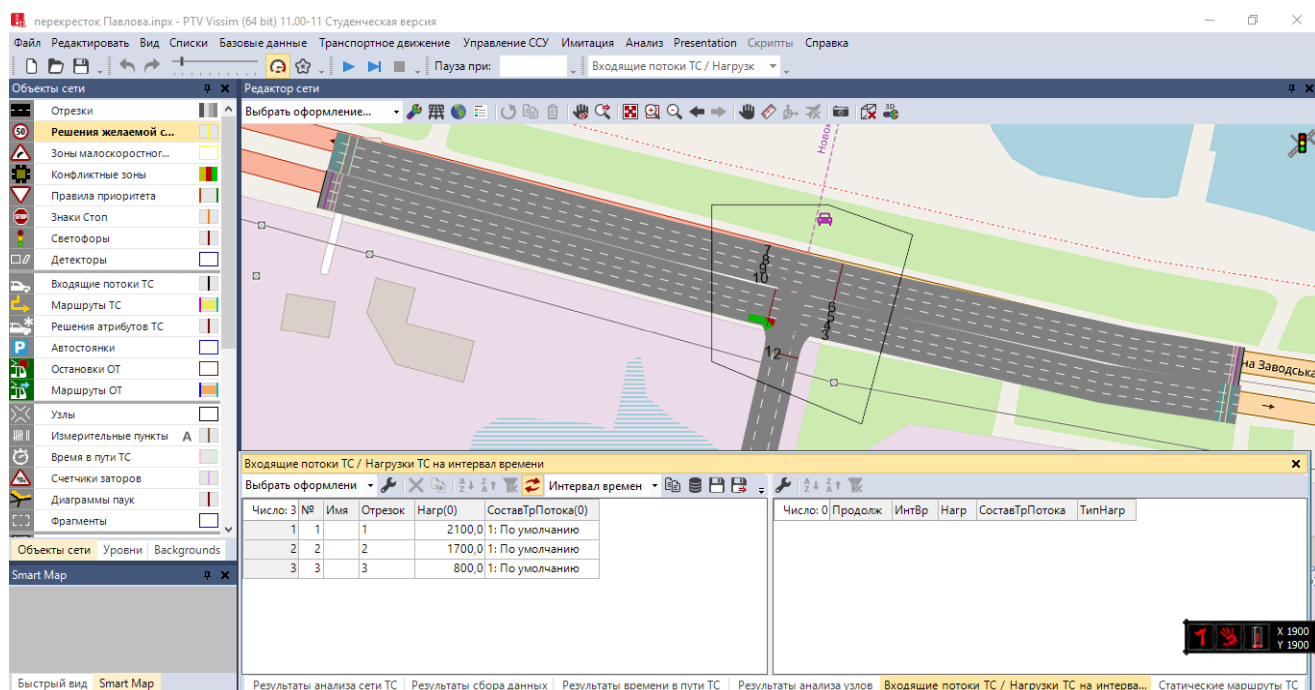


Рисунок В.8 – Модель перекрестя вул. Набережна Заводська – вул. Павлова із регульованим рухом

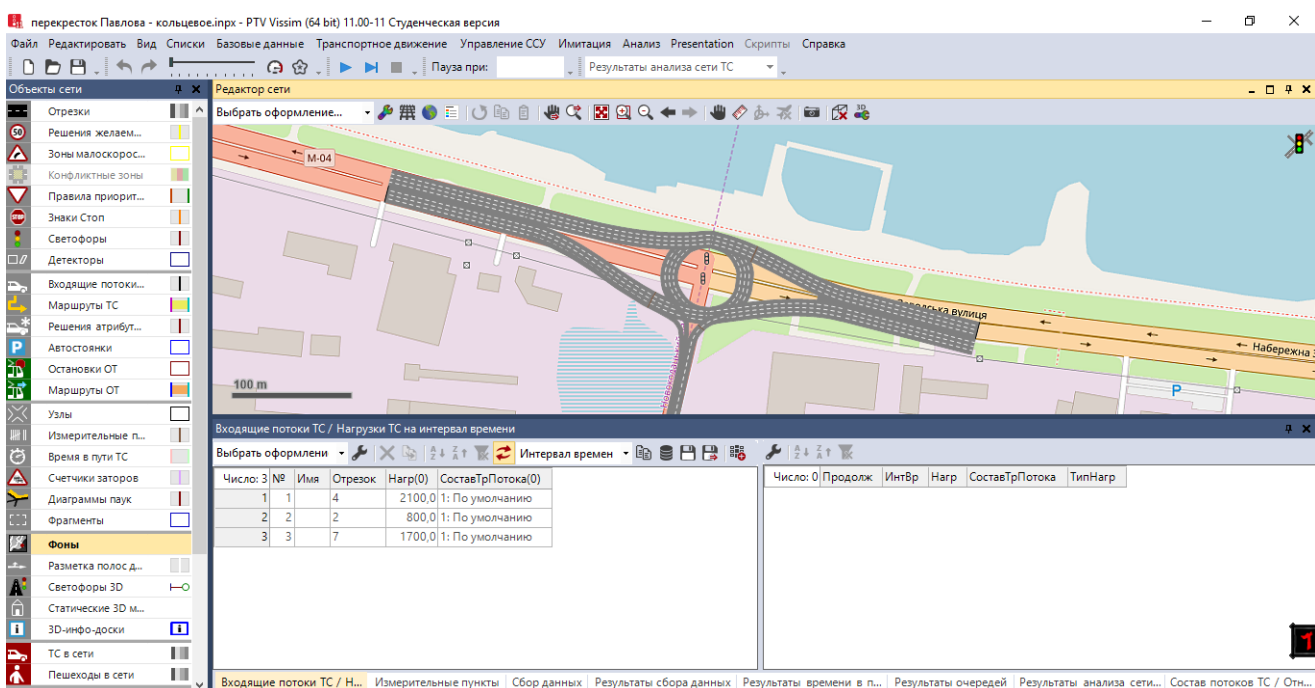


Рисунок В.9 – Моделі перекрестя вул. Набережна Заводська – вул. Павлова із кільцевим рухом

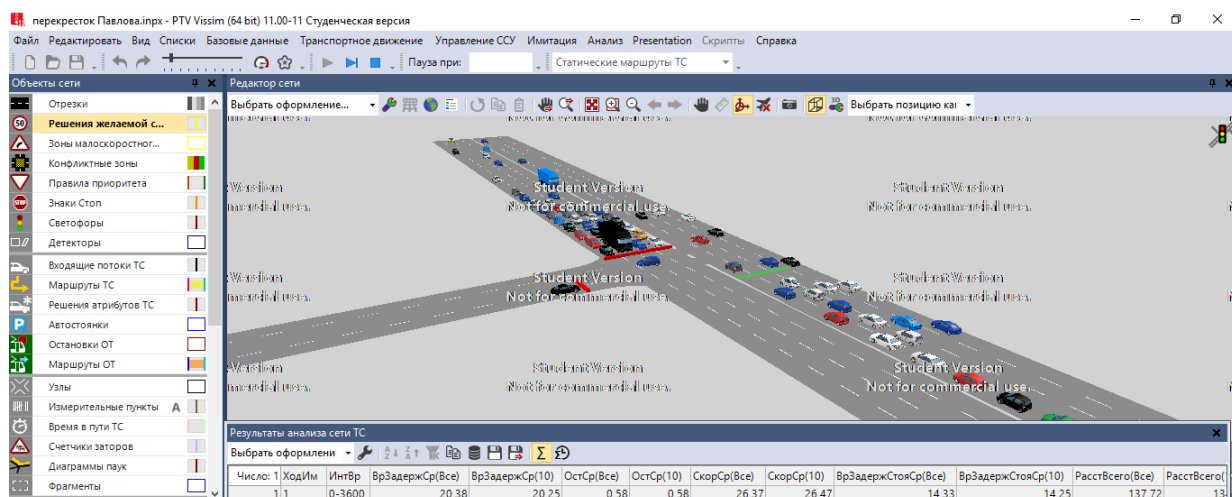


Рисунок В.10 – Процес імітації руху ТЗ на перехресті із регульованим рухом

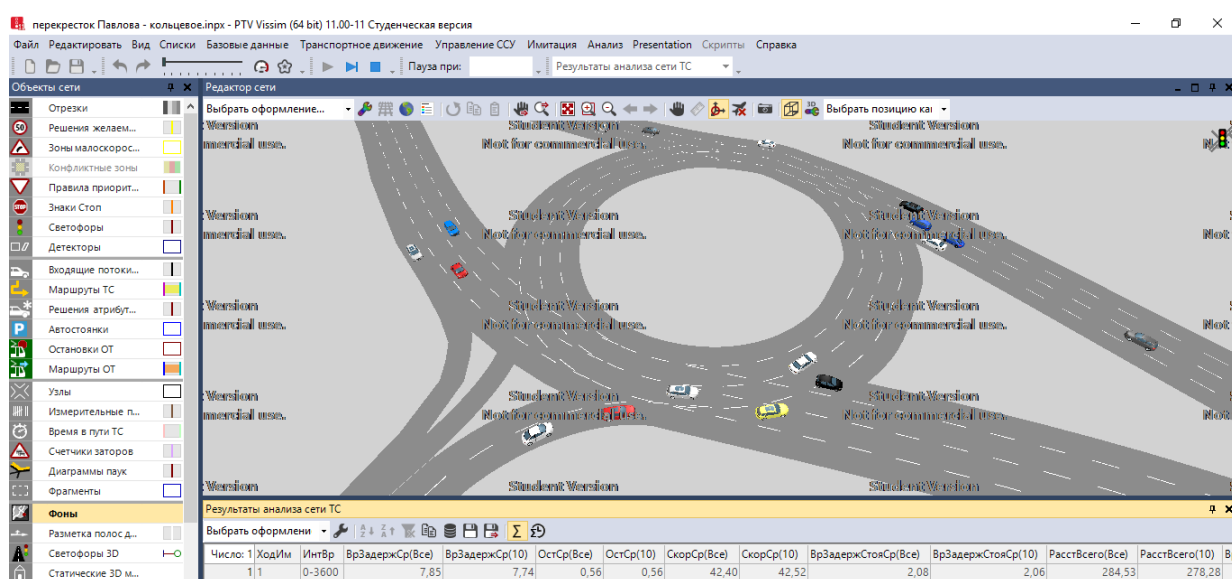


Рисунок В.11 – Процес імітації руху ТЗ на перехресті із кільцевим рухом

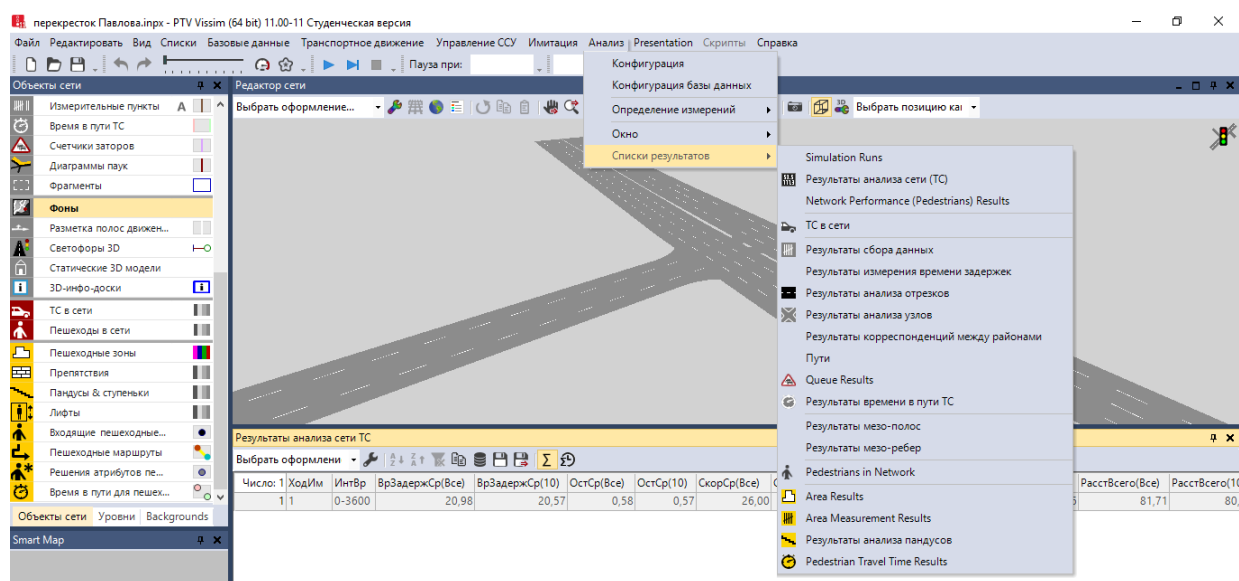


Рисунок В.12 – Можливості кількісного аналізу транспортного руху у PTV VISSIM

Таблиця В.1 – Основні характеристики транспортного руху,
які розраховуються у PTV Vissim

№ п/п	Назва функції у PTV VISSIM	Зміст функції
1	Час затримки (середнє значення)	Середній час затримки ТЗ
2	Зупинки (середнє значення)	Середня кількість зупинок ТЗ
3	Швидкість (середня)	Середня швидкість
4	Час простою	Середній час простою ТЗ
5	Відстань	Загальна відстань всіх ТЗ
6	Час в дорозі	Загальний час в дорозі всіх ТЗ
7	Загальний час затримки (всього)	Повний час затримки ТЗ
8	Зупинки (всього)	Загальна кількість зупинок ТЗ
9	Час простою (всього)	Загальний час простою ТЗ
10	ТЗ (акт)	Загальна кількість авто за час імітації
11	Прискорення	Середнє прискорення авто
12	Час в заторі	Час в заторі всіх ТЗ
13	Ступінь заповнення	Час, за який був заданий вимірювальний пункт
14	Подоланий відрізок дороги	Відстань, яку подолав один ТЗ
15	Люди	Кількість людей в системі
16	Довжина затору (середня)	Середня довжина затору
17	Рівень обслуговування ТЗ	Значення рівня обслуговування від 1-6
18	Емісія CO	Кількість монооксида вуглецю на 1 ТЗ
19	Емісія NO	Кількість монооксидів азоту
20	Емісія VOC	Кількість летючих органічних з'єднань
21	Витрати палива	Витрати палива
22	Щільність	Щільність потоку
23	Навантаження	Кількість ТЗ за годину

Таблиця В.2 – Аналіз відповідності мети керування дорожнім рухом
та критеріями якості

МЕТА КЕРУВАННЯ	КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ
Гарантування безпеки руху	Рівень аварійності на ВДМ
Підвищення рівня обслуговування учасників руху	- Тривалість затримки - Середня швидкість руху - Кількість зупинок - Довжина черги перед перехрестям - Експлуатаційні витрати
Підвищення пропускної здатності ВДМ	Рівень використання пропускної здатності ВДМ
Зменшення шкідливого впливу на довкілля	- Рівень забруднення відпрацьованими газами - Витрати палива
Надійність керування	- Максимальна швидкість руху - Параметр нерівномірності руху

Таблиця В.3 – Обрані для аналізу результати моделювання

№ п/п	Показник	Значення показника				Ефект, %
		Регульований рух		Кільцевий рух		
		абсолютне	відносне	абсолютне	відносне	
1	Середній час затримки ТЗ, с	21,53	0,36	7,76	1,00	64%
2	Середня кількість зупинок ТЗ, с	0,59	0,97	0,57	1,00	3%
3	Середня швидкість, км/год.	26,57	0,63	42,38	1,00	37%
4	Середній час простою ТЗ, с	11,55	0,35	4,02	1,00	65%
5	Середній час у заторі всіх ТЗ, с	15,52	0,39	6,05	1,00	61%
6	Середня довжина затору, м	104,83	0,08	7,98	1,00	92%
7	Емісія СО, гр.	257	1	343,25	0,75	-34%
8	Витрати палива	5,69	1	6,38	0,89	-12%

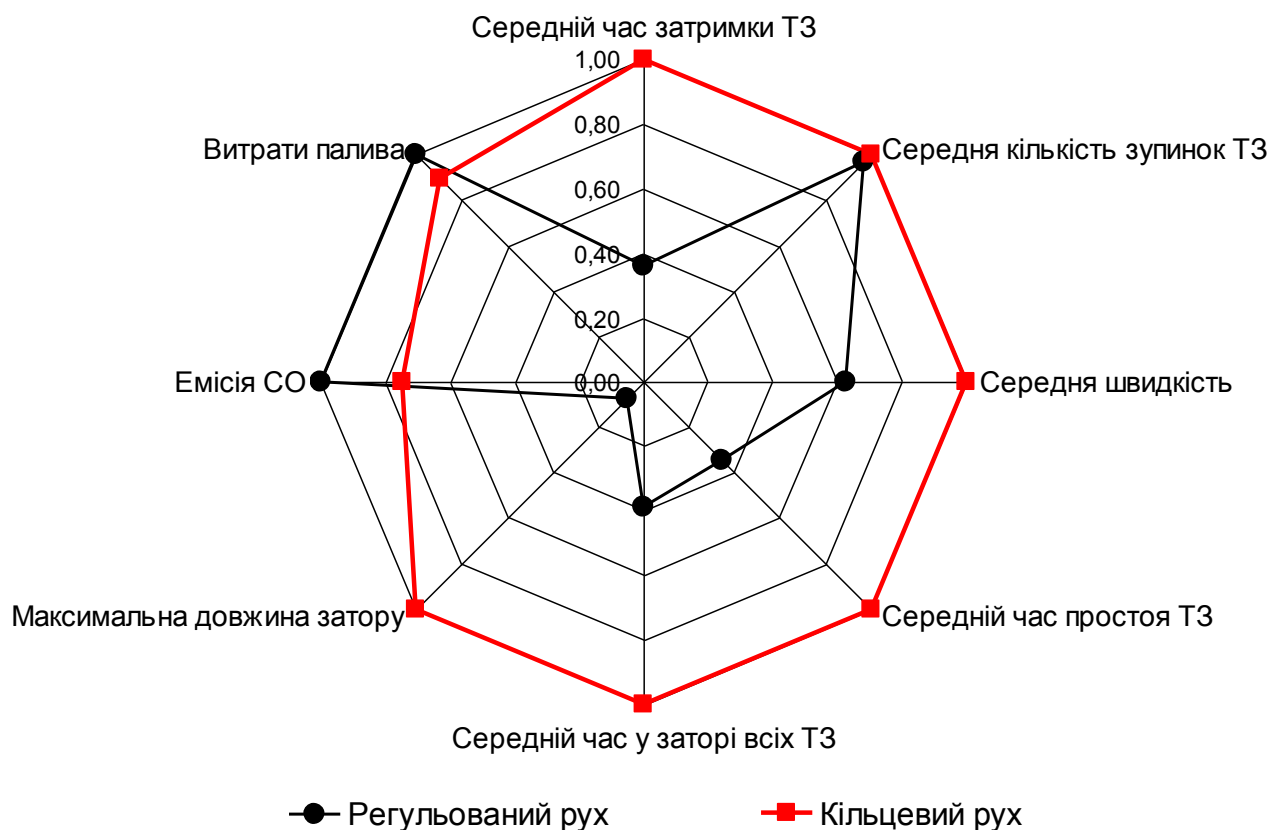


Рисунок В.13 – Радарна діаграма відносних показників ефективності організації дорожнього руху

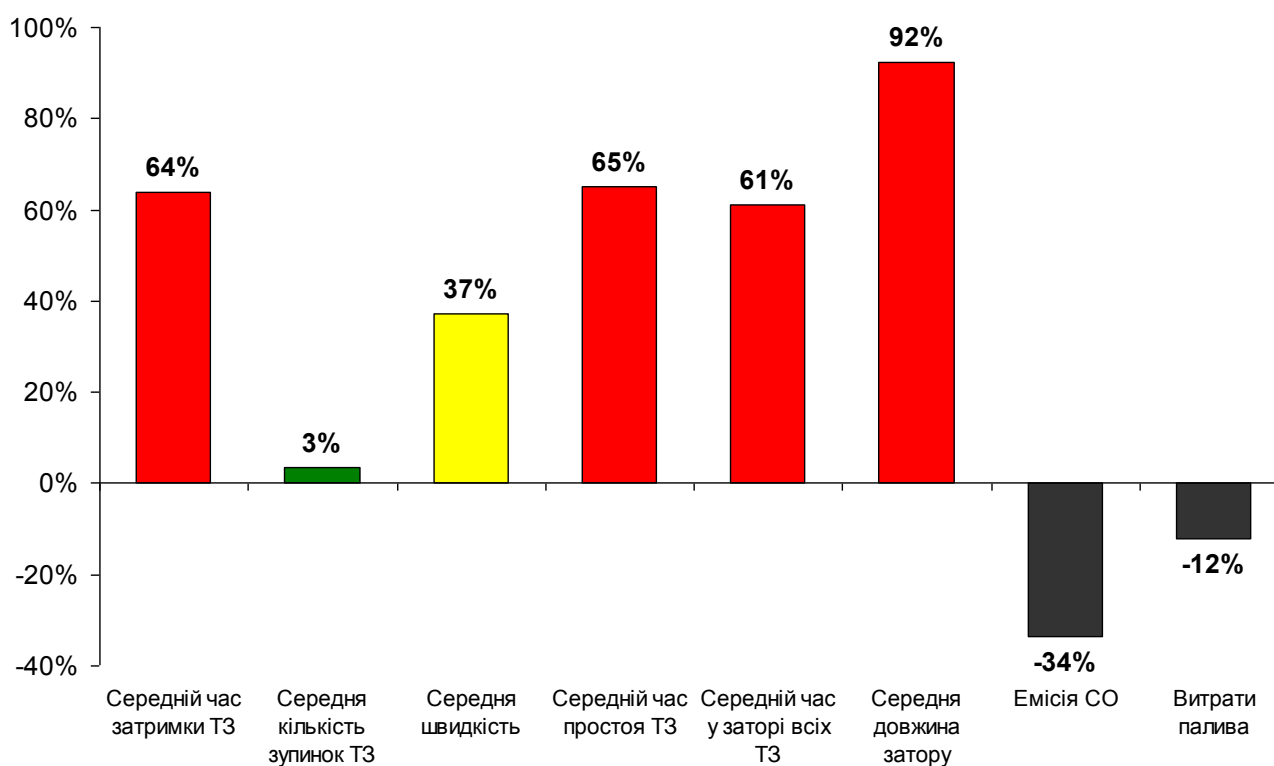


Рисунок В.14 – Ефективність запровадження кільцевого руху на перехресті вул. Набережна Заводська – вул. Павлова

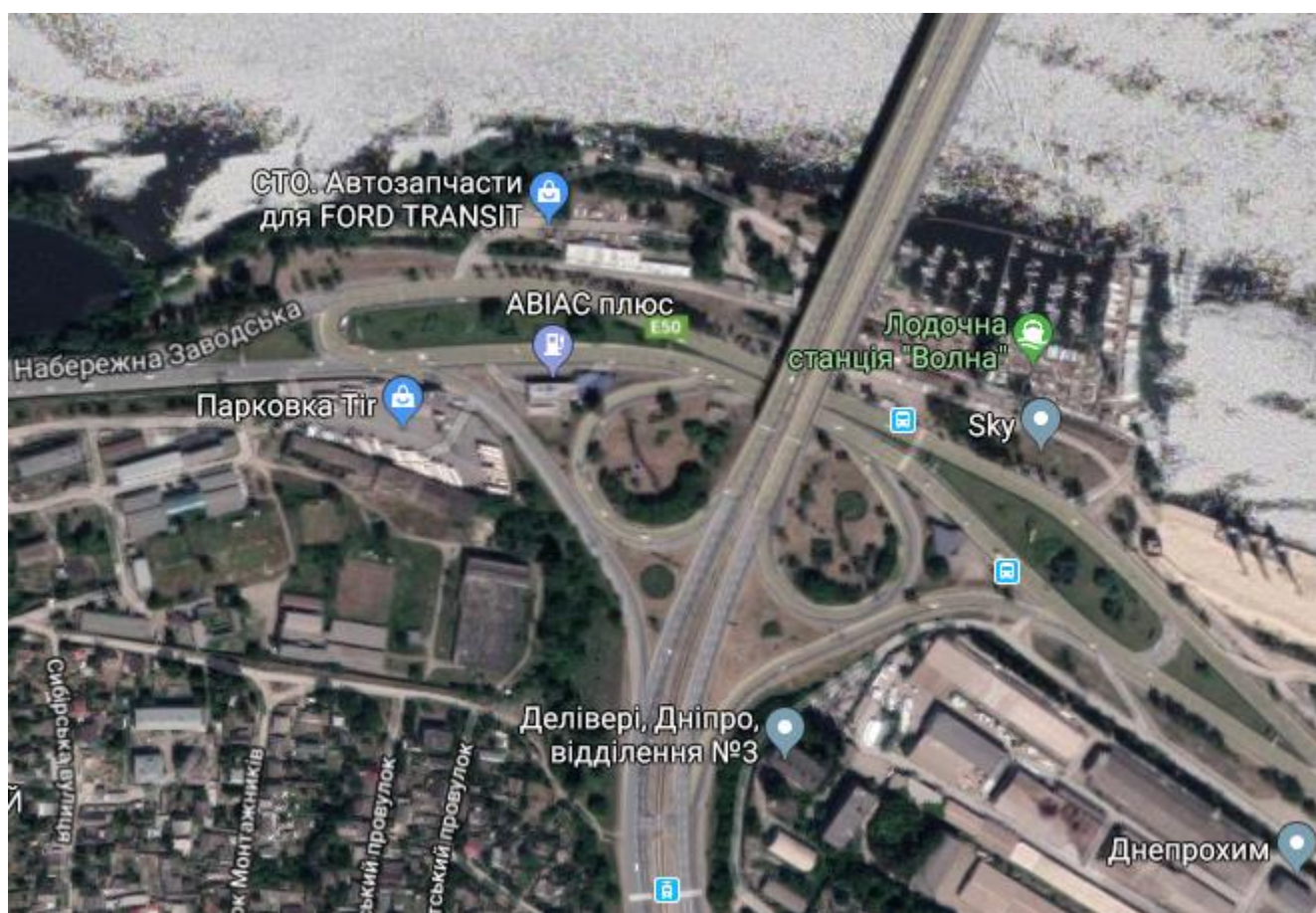


Рисунок В.15 – З'їзд з Кайдакського моста на вулицю Набережна Заводська

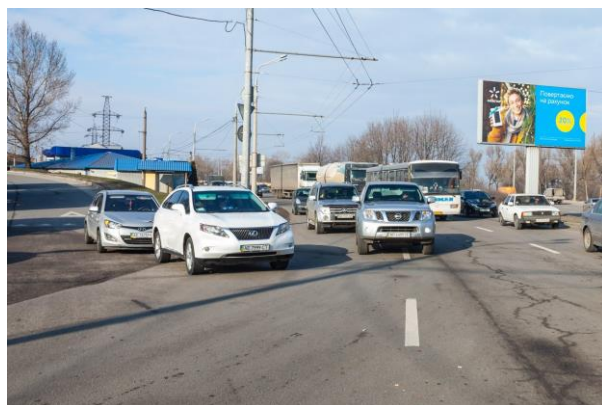


Рисунок В.16 – Процес утворення заторів та аварії у конфліктних точках злиття на з'їзді з Кайдакського моста

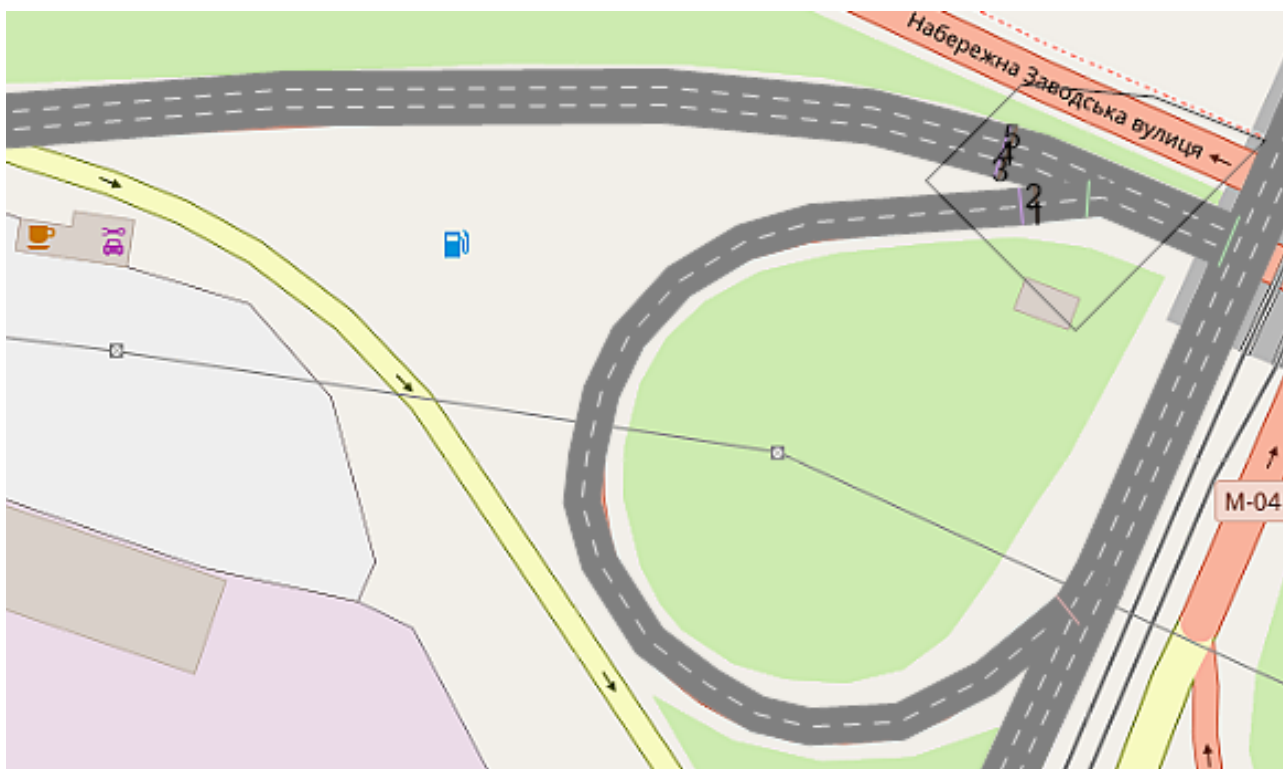


Рисунок В.17 – Модель з'їзду з Кайдакського моста та перетину з вул. Набережна Заводська без світлофорів

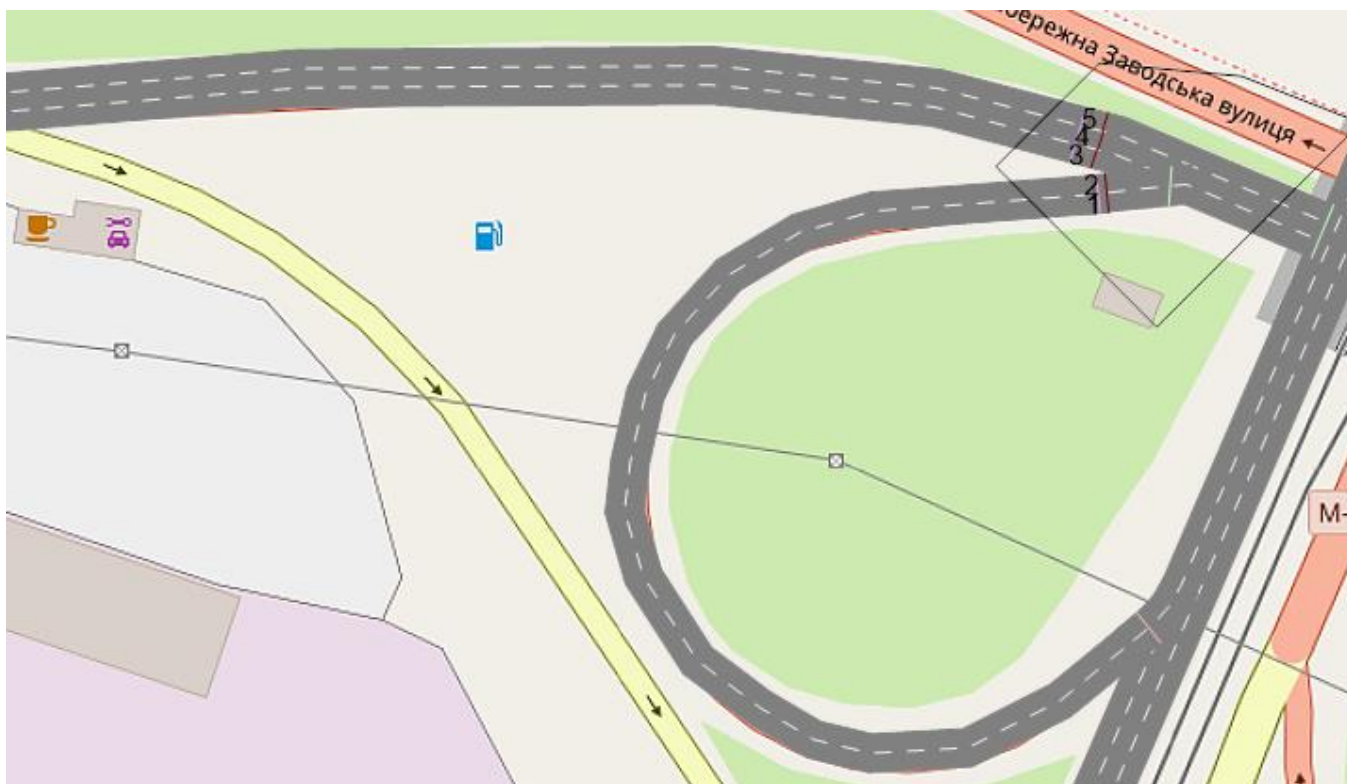


Рисунок В.18 – Модель з'їзду з Кайдакського моста та перетину з вул. Набережна Заводська зі світлофорами

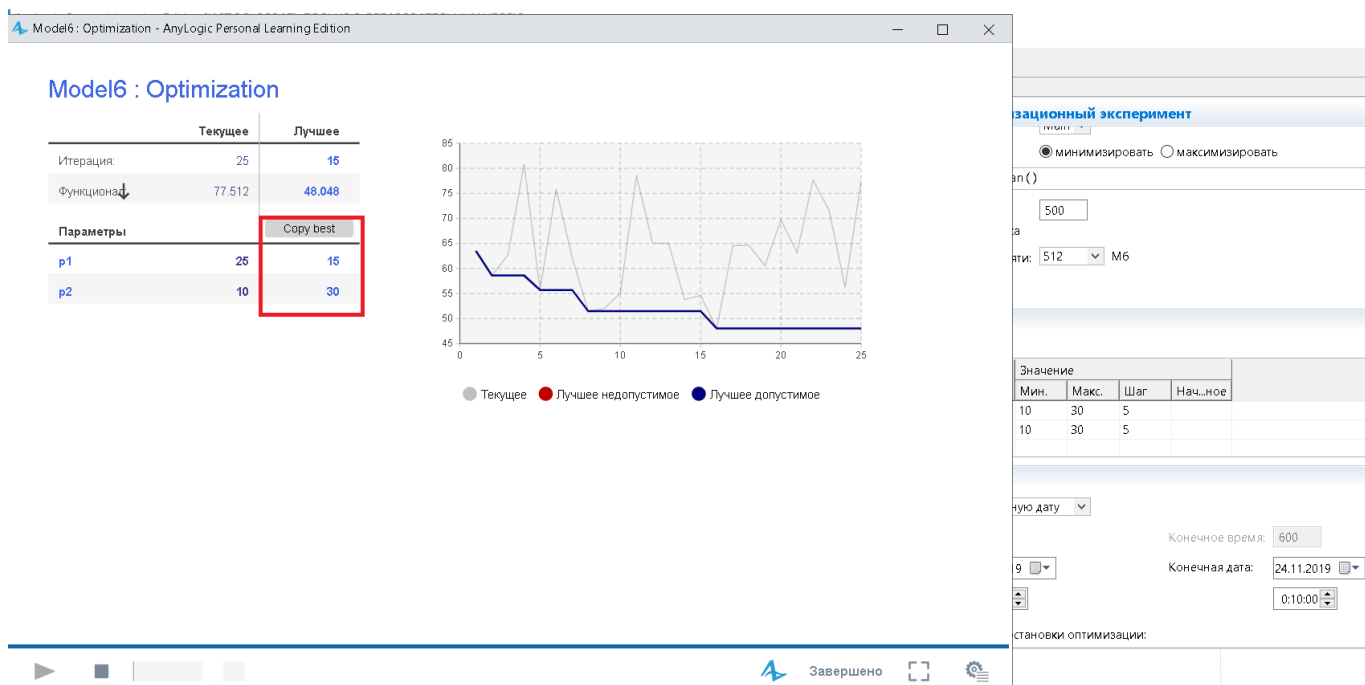


Рисунок В.19 – Процес визначення оптимальних параметрів світлофорного циклу на з'їзді з Кайдакського моста та перетину з вул. Набережна Заводська у програмному продукті AnyLogic

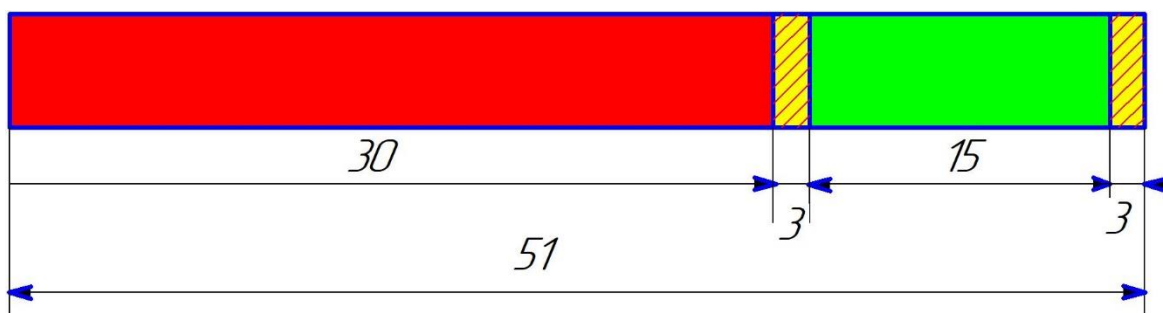


Рисунок В.20 – Оптимальний світлофорний цикл для напрямку «3'їзд з моста»

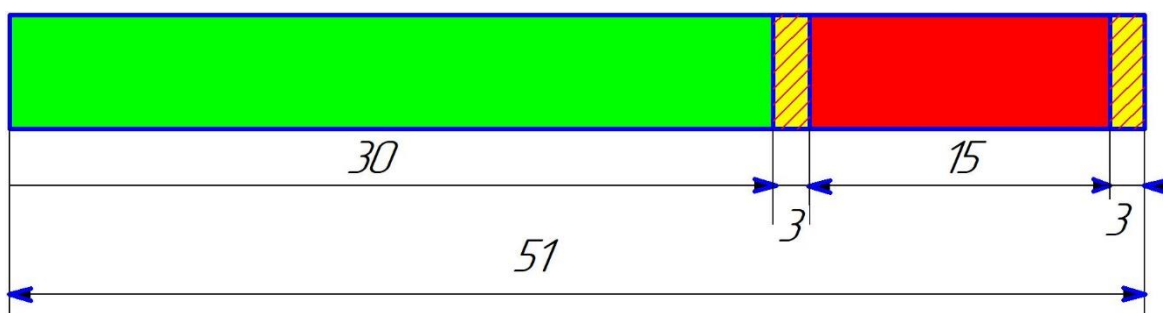


Рисунок В.21 – Оптимальний світлофорний цикл для напрямку «Парус→Центр»

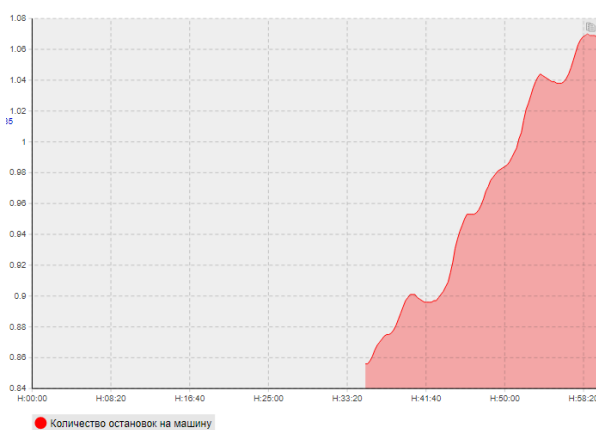
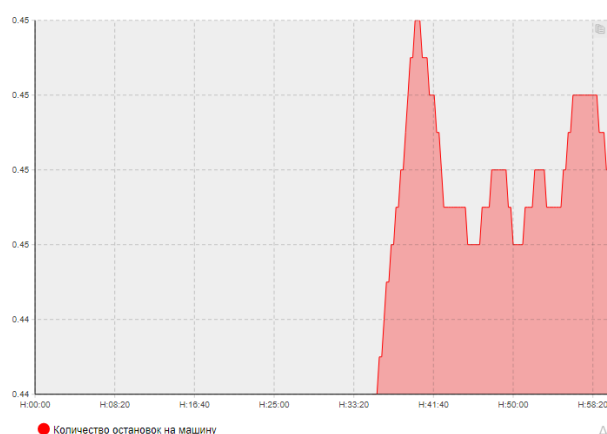


Рисунок В.22 – Кількість зупинок на один автомобіль
Модель без світлофорів



Модель зі світлофорами

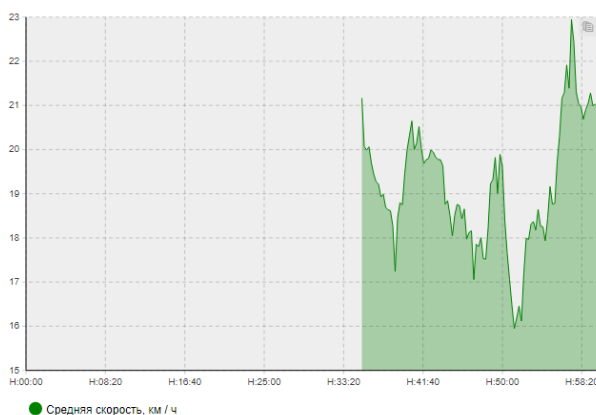
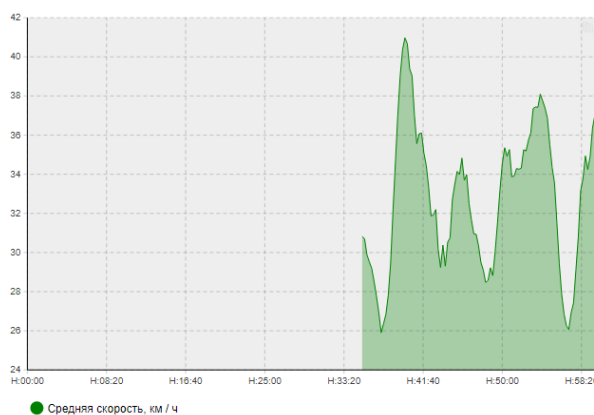


Рисунок В.23 – Середня швидкість ТЗ
Модель без світлофорів



Модель зі світлофорами

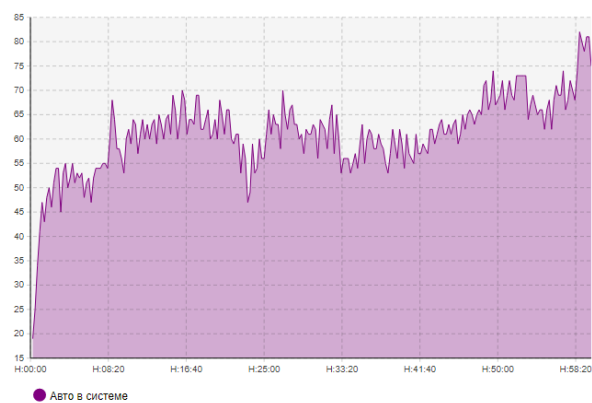
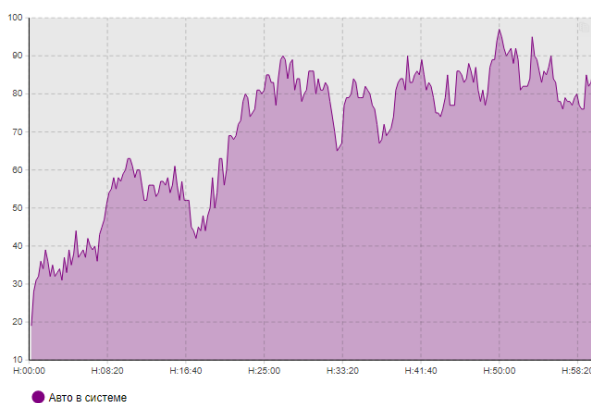


Рисунок В.24 – Кількість ТЗ у системі у одиницю часу
 Модель без світлофорів Модель зі світлофорами

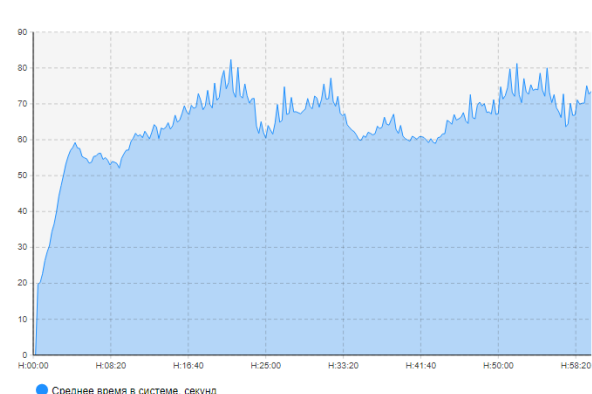
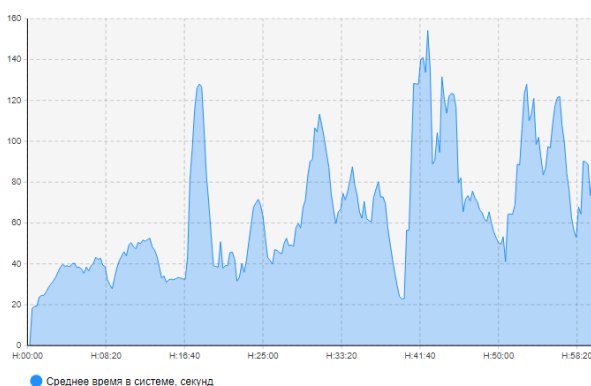


Рисунок В.25 – Середній час перебування ТЗ в системі
 Модель без світлофорів Модель зі світлофорами

Таблиця В.4 – Обрані для аналізу результати моделювання у PTV Vissim

№ п/п	Показник	Значення показника				Ефект, %
		Нерегульований рух		Регульований рух		
		абсолютне	відносне	абсолютне	відносне	
1	Середній час затримки ТЗ, с	24,69	0,74	18,19	1,00	26%
2	Середня кількість зупинок ТЗ, с	1,49	0,60	0,9	1,00	40%
3	Середня швидкість, км/год.	26,91	0,83	32,56	1,00	17%
4	Середній час простою ТЗ, с	6,72	0,60	4,02	1,00	40%
5	Середній час у заторі всіх ТЗ, с	12,3	0,94	11,51	1,00	6%
6	Середня довжина затору, м	89,5	0,22	20,1	1,00	78%
7	Емісія СО, гр.	505,25	0,50	251,67	1,00	50%
8	Витрати палива	10,6	0,6	6,4	1,00	40%

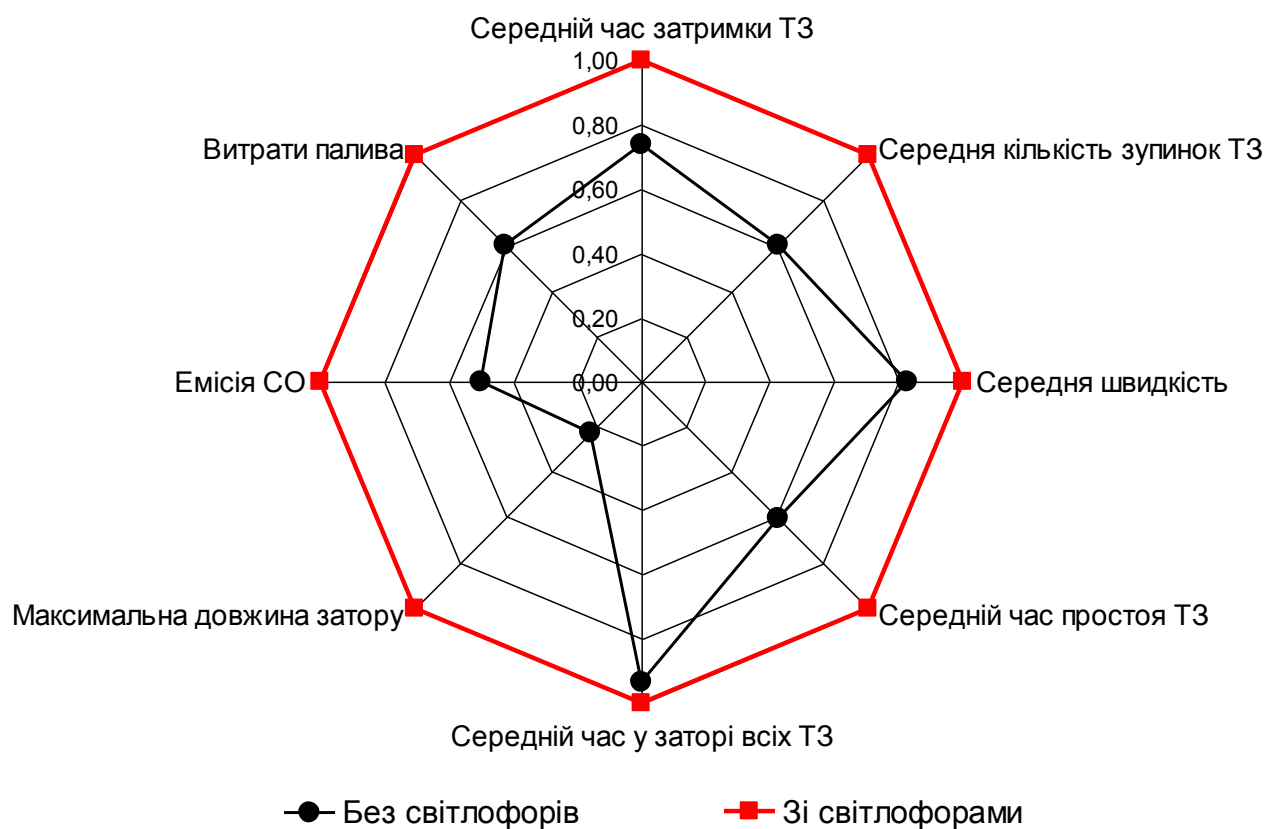


Рисунок В.26 – Радарна діаграма відносних показників ефективності організації дорожнього руху

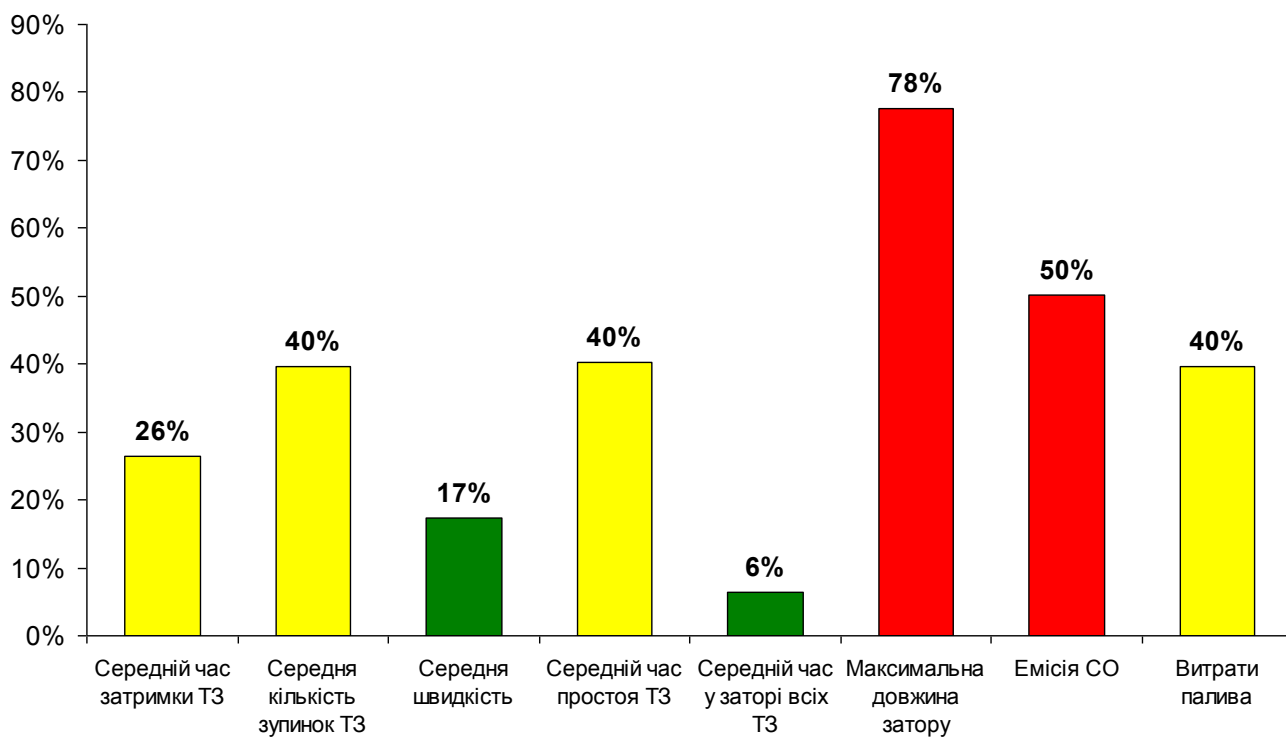


Рисунок В.27 – Ефективність запровадження світлофорного регулювання на з'їзді з Кайдакського моста та перетину з вулицею Набережна Заводська



Рисунок В.27 – Смуга, виділена для парковки на вул. Ярослава Мудрого

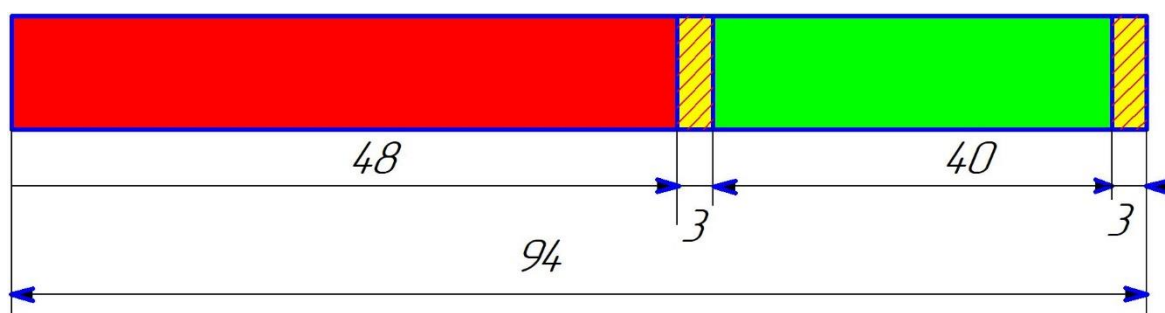


Рисунок В.28 – Світлофорний цикл для руху по вул. Воскресенська

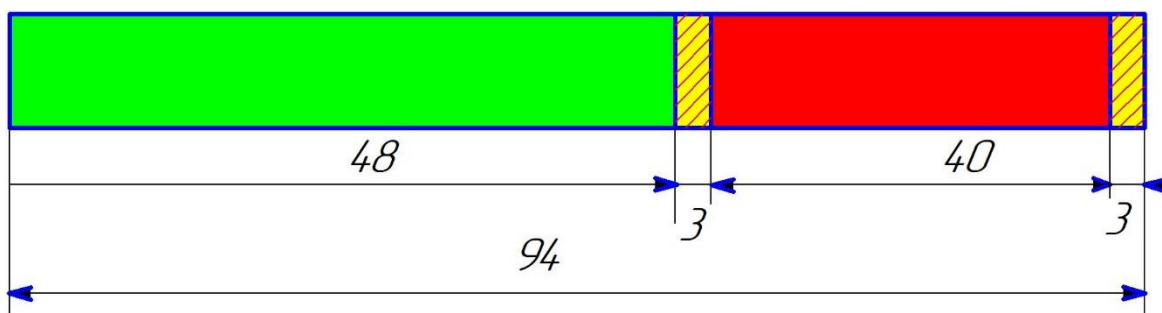


Рисунок В.29 – Світлофорний цикл для руху по вул. Ярослава Мудрого



Рисунок В.30 – Модель перехрестя вул. Ярослава Мудрого та вул. Воскресенська без смуги для паркування



Рисунок В.31 – Модель перехрестя вул. Ярослава Мудрого та вул. Воскресенська зі смугою для паркування

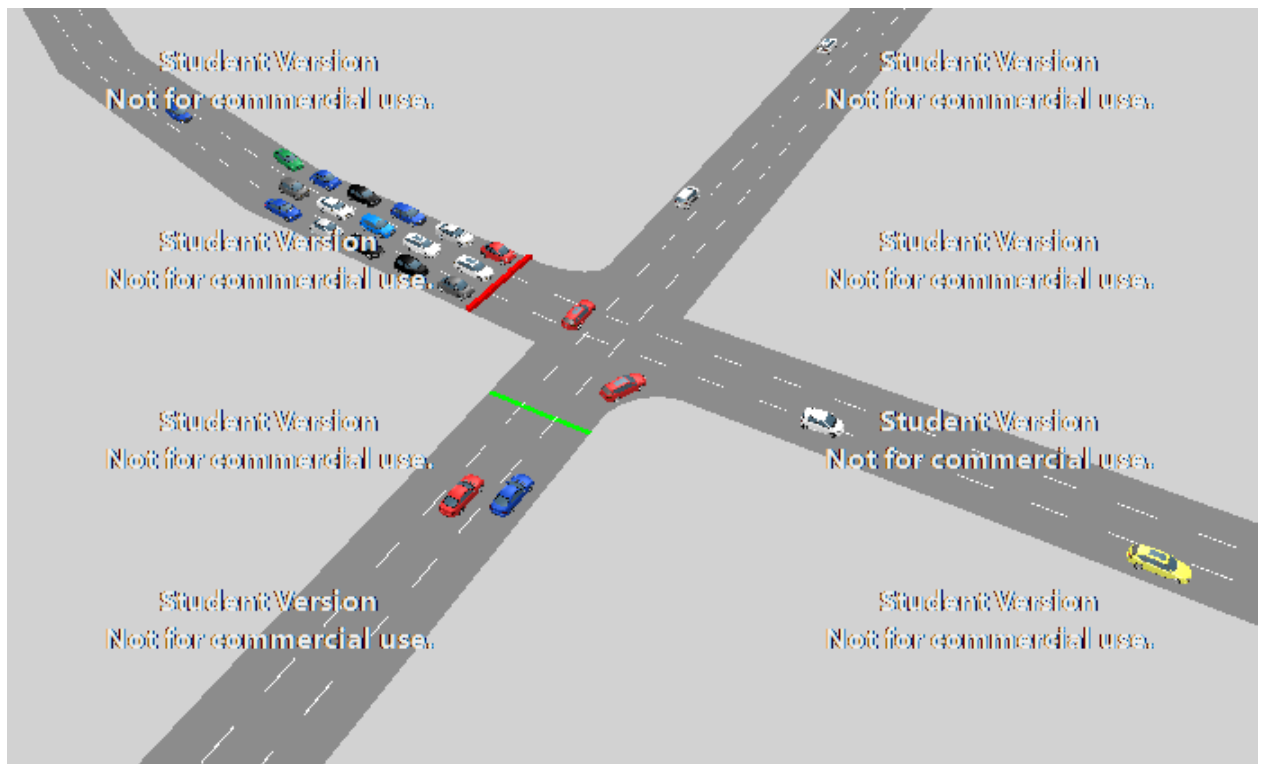


Рисунок В.32 – Процес імітації руху ТЗ без смуги для паркування

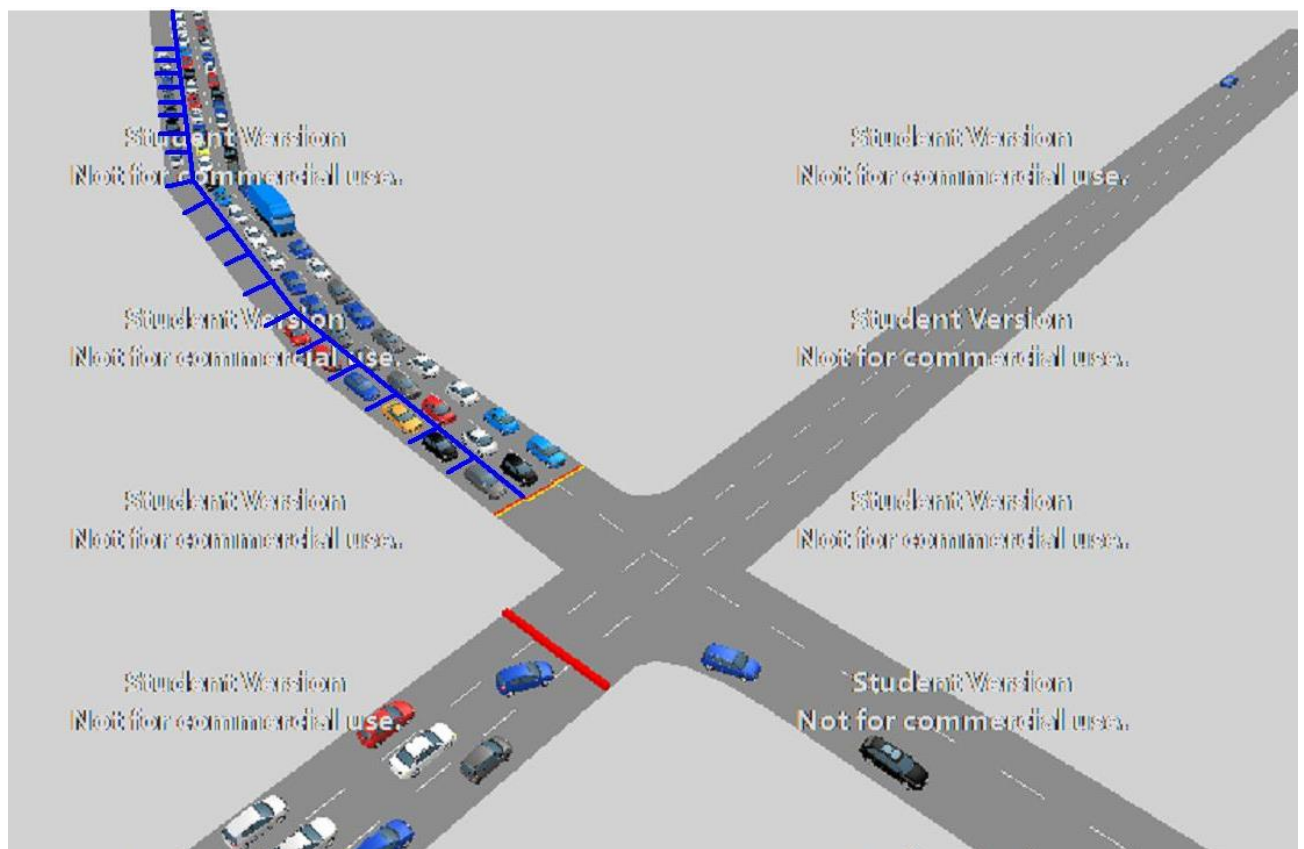
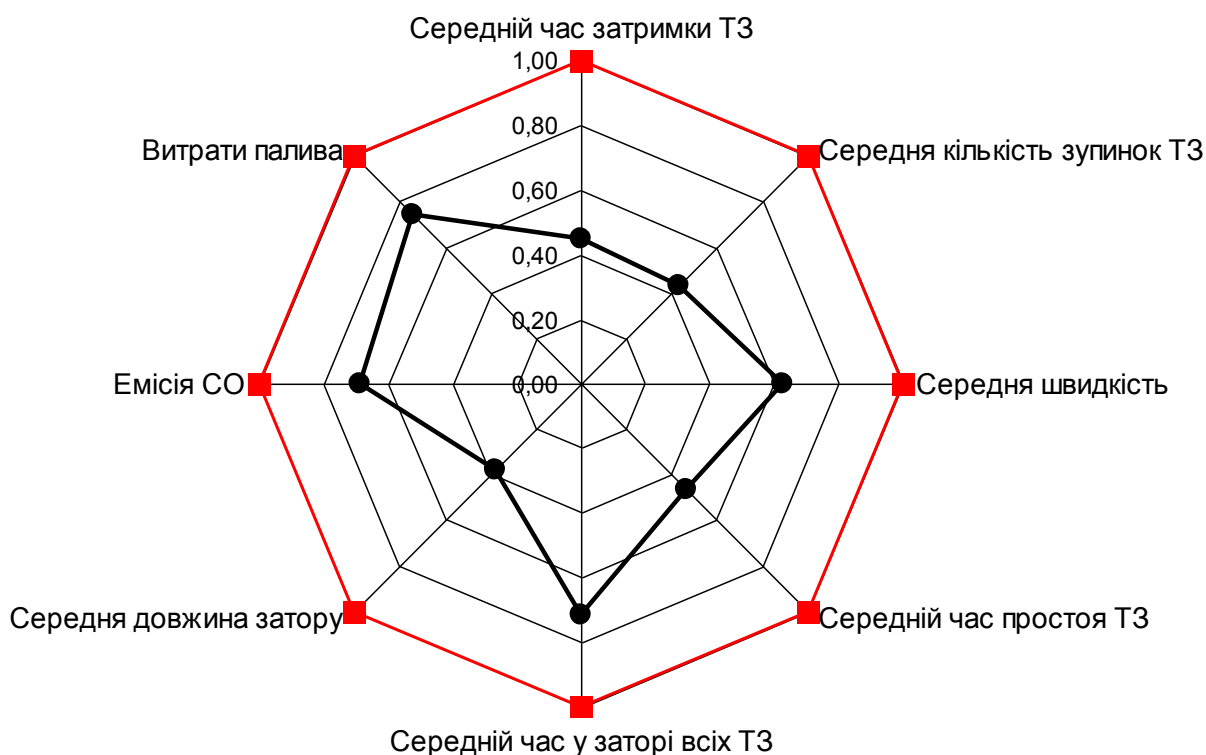


Рисунок В.33 – Процес імітації руху ТЗ зі смугою для паркування

Таблиця В.5 – Обрані для аналізу результати моделювання у PTV Vissim

№ п/п	Показник	Значення показників				Ефект, %
		Без смуги для паркування		Зі смугою для паркування		
		абсолютне	відносне	абсолютне	відносне	
1	Середній час затримки ТЗ, с	6,5	1,00	14,49	0,45	-55%
2	Середня кількість зупинок ТЗ, с	0,27	1,00	0,63	0,43	-57%
3	Середня швидкість, км/год.	30,9	1,00	19,42	0,63	-37%
4	Середній час простою ТЗ, с	14,68	1,00	31,69	0,46	-54%
5	Середній час у заторі всіх ТЗ, с	11,3	1,00	15,8	0,72	-28%
6	Середня довжина затору, м	29,04	1,00	76,61	0,38	-62%
7	Емісія СО, гр.	491,97	1,00	714,41	0,69	-31%
8	Витрати палива, л	6,06	1,00	8,2	0,74	-26%



—■— Без смуги для паркування

—●— Зі смугою для паркування

Рисунок В.34 – Радарна діаграма відносних величин показників ефективності ОДР

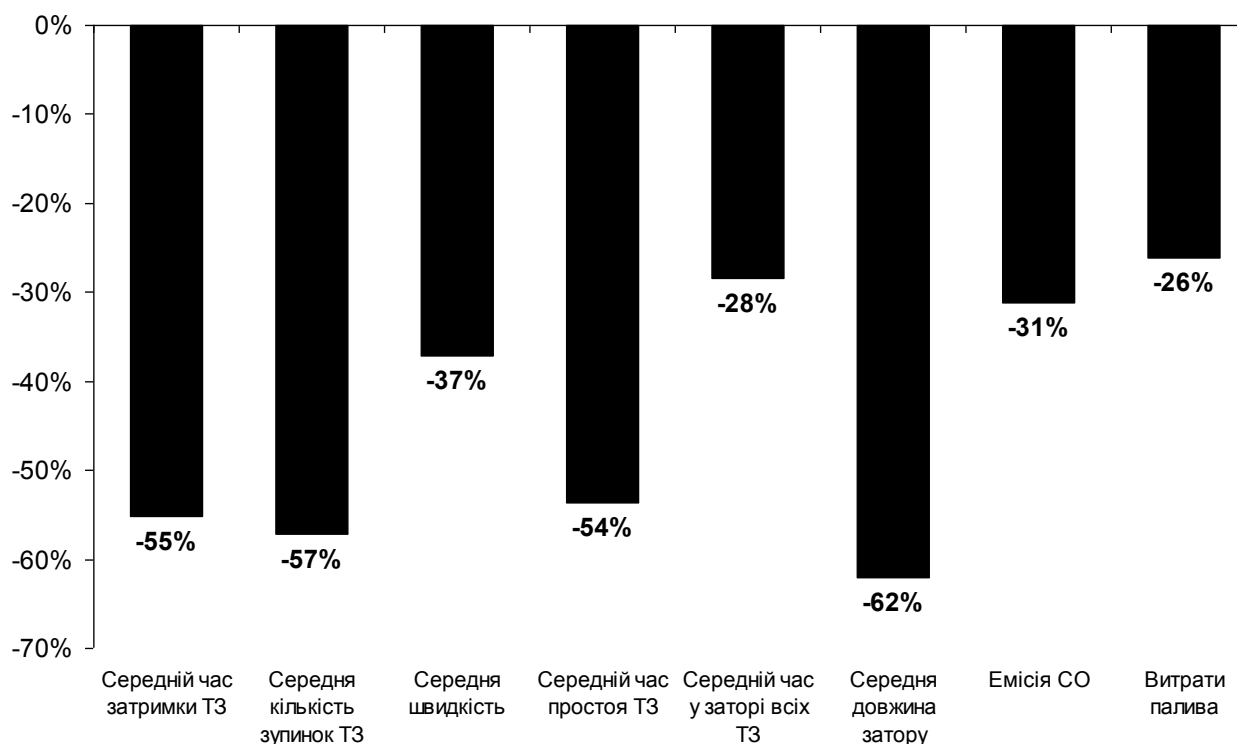


Рисунок В.35 – Ефективність влаштування паркування на крайній правій смузі руху

Прізвище, ім'я та по батькові:			
Назва установи:			
Вчене звання:			
Посада:			

Назва функції у PTV VISSIM	Зміст функції	ПІАПІТЕТ (число від 1 до 8 у порядку зменшення значимості показника)		
Час затримки (середнє значення)	Середній час затримки ТЗ			
Зупинки (середнє значення)	Середня кількість зупинок ТЗ			
Швидкість (середня)	Середня швидкість			
Час простою	Середній час простою ТЗ			
Час в заторі	Час в заторі всіх ТЗ			
Довжина затору (середня)	Середня довжина затору			
Емісія CO	Кількість монооксида вуглецю на 1 ТЗ			
Витрати палива	Витрати палива			

Рисунок В.36 – Бланк опитування для експертного оцінювання

Таблиця В.6 – Результати експертного оцінювання

Місто	Луцьк	Рівне	Київ	Дніпро	ХАРКІВ						КРИВИЙ РІГ	ВІННИЦА					
Прізвище, ім'я та по батькові:	Павлова І.О.	Онищук В.П.	Кристючук М.Є.	Сажко В.П.	Літвінова Я.В.	Вдовиченко В.О.	Орда О.О.	Трубілко В.В.	Калінченко О.П.	Павленко О.В.	Нагілюк І.С.	Птиця Г.Г.	Монастирський Ю.А.	Білінченко В.В.			
Вищий навчальний заклад	Луцький національний технічний університет	Луцький національний технічний університет	Національний транспортний університет	НТУ "Дніпровська політехніка"	Харківський національний автомобільно-дорожній університет						Криворізький Національний університет	Вінницького національного технічного університету					
	кандидат технічних наук	кандидат технічних наук	доктор технічних наук	кандидат технічних наук	доктор технічних наук				кандидат технічних наук	кандидат технічних наук	професор	кандидат технічних наук	професор	завідуючий кафедрою			
Посада	доцент	доцент	завідуючий кафедрою	зав. каф.	доцент	професор	доцент	асистент	доцент	доцент	завідуючий кафедрою	доцент	завідуючий кафедрою	завідуючий кафедрою			
ПРІОРИТЕТ																	
Зміст функції														505	1,00		
Середній час затримки ТЗ	1	4	8	4	1	8	8	7	2	3	8	4	6	2	66	60	0,12
Середня кількість зупинок ТЗ	5	5	7	8	4	1	6	6	3	5	2	6	5	8	71	55	0,11
Середня швидкість	4	1	6	1	2	7	5	1	4	2	5	2	4	2	46	80	0,16
Середній час простою ТЗ	6	6	5	5	6	2	4	2	6	4	6	7	3	5	67	59	0,12
Час в заторі всіх ТЗ	2	7	4	7	5	6	7	3	5	6	7	8	2	6	75	51	0,10
Середня довжина затору	3	8	3	6	7	4	3	4	7	8	1	1	1	7	63	63	0,12
Кількість монооксида вуглецю	7	2	2	3	8	5	1	8	8	7	4	5	7	4	71	55	0,11
Витрати палива	8	3	1	2	3	3	2	5	1	1	3	3	8	3	46	80	0,16

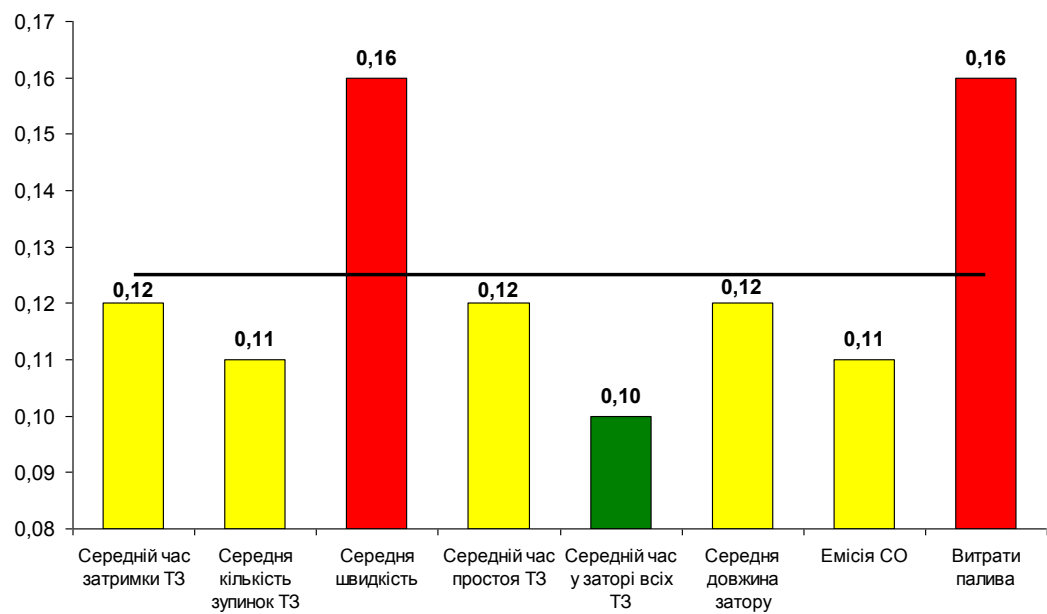


Рисунок В.37 – Значення вагових коефіцієнтів обраних показників ефективності