

Дослідження впливу дорожніх знаків на ефективність функціонування перехресть

Холодова О.¹, Бугайова М.¹, Малінський В.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна
Надійшла: 01.04.2026. Прийнято: 07.05.2026. Опубліковано: 08.05.2026. Відкритий доступ: CC BY 4.0.

Анотація. Досліджено вплив параметрів застосування дорожніх знаків на ефективність функціонування регульованих перехресть у міських умовах. Встановлено їх визначальну роль у формуванні поведінки учасників руху та забезпеченні безпеки транспортних потоків. Методичною основою є імітаційне моделювання в середовищі PTV VISSIM з урахуванням геометричних, транспортних і поведінкових параметрів. Оцінювання ефективності здійснено за показниками затримок транспортних засобів і пішоходів, щільності потоків, рівня безпеки та екологічних характеристик. Результати моделювання показали, що вдосконалення схеми дорожньої сигналізації, зокрема заміна знака 4.6 на 5.16, дозволяє знизити затримки транспортних засобів на 12–18 %, зменшити кількість конфліктних взаємодій і підвищити рівномірність транспортного потоку. Доведено позитивний вплив на екологічні показники та підтверджено, що ефективність дорожніх знаків залежить від їх відповідності умовам руху, параметрам видимості та узгодженості з іншими засобами організації дорожнього руху. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування інженерних рішень щодо оптимізації організації дорожнього руху на перехрестях.

Ключові слова: дорожні знаки, організація дорожнього руху, перехрестя, імітаційне моделювання, безпека руху, пропускна спроможність, дорожньо-транспортна пригода, транспортні потоки

Вступ

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

Аналізуючи причини ДТП, можна виокремити ряд таких, як недостатня видимість знаків, їх невідповідність нормативним вимогам, надмірна або недостатня кількість ін-

формації для водіїв, що призводить до помилкових рішень та порушень правил дорожнього руху (ПДР). У зв'язку з цим виникає необхідність детального дослідження впливу якісного облаштування дорожніх знаків на ефективність функціонування перехресть, оскільки саме на цих ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ) спостерігається висока концентрація ТП та потенційно небезпечних ситуацій.

Аналіз публікацій

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

Дорожні знаки як ключовий елемент ОДР привертають увагу великої кількості дослід-

ників у всьому світі. Наукові роботи в цій сфері зосереджуються на оцінці сприйняття знаків водіями, їхньому впливі на поведінку учасників руху, а також на оптимізації системи дорожньої сигналізації для підвищення безпеки та пропускної спроможності (ПС) доріг. Огляд літературних джерел дозволить проаналізувати сучасні підходи та результати досліджень, які стосуються цієї тематики, визначити основні тенденції та виявити аспекти, що потребують подальшого вивчення.

Певні дослідження вивчають вплив додаткових (супутніх) дорожніх знаків на увагу водіїв і ефективність сприйняття основної навігаційної інформації на автомагістралях Німеччини після законодавчих змін 2005 року [1]. Вони базуються на чотирьох експериментах за участю 30 осіб, у межах яких аналізувалися особливості уваги та реакції водіїв за наявності додаткових знаків. Встановлено, що під час пошуку напрямку руху водії практично ігнорують супутні знаки, а також те, що вони не чинять негативного впливу на сприйняття основної інформації та не погіршують швидкість реакції чи рівень аварійності за результатами симуляційного експерименту. Отримані результати свідчать, що додаткові інформаційні елементи не обов'язково знижують концентрацію уваги, що є важливим для оцінки ефективності дорожньої сигналізації, зокрема на перехрестях. Більш сучасні дослідження [2] узагальнюють вплив зовнішніх джерел відволікання водіїв у дорожньому середовищі (окрім білбордів) і показують, що їхній вплив недостатньо вивчений, хоча взаємодія з ними підвищує ризик ДТП.

Низка досліджень присвячена аналізу взаємозв'язку між аварійністю та характеристиками дорожніх знаків. Зокрема, подібний аналіз проведено на державних дорогах Хорватії за 2012–2016 роки із застосуванням панельної квантильної регресії, що дозволило врахувати приховану гетерогенність даних [3]. Встановлено, що недостатня видимість знаків підвищує ризик ДТП як із матеріальними збитками, так і з постраждалими, тоді як збільшення кількості попереджувальних і обов'язкових знаків сприяє зниженню аварійності; водночас вищі швидкісні обмеження корелюють із її зростанням. Додатково підтверджено, що наявність несправних або невідповідних знаків суттєво погіршує рівень безпеки, що обґрунтовує необхідність їх належного утримання та може бути використано при розробленні заходів оптимізації до-

рожньої сигналізації на перехрестях. Інші дослідження, присвячені оцінюванню впливу дорожніх знаків на тяжкість ДТП, виконано із застосуванням моделі SUR у панельних даних, що дозволило врахувати міжзмінні кореляції [4]. Отримано, що обов'язкові знаки зменшують кількість ДТП із матеріальними збитками, тоді як попереджувальні більше пов'язані з аваріями з тяжкими наслідками; водночас підтверджено негативний вплив недостатньої видимості та некоректного встановлення знаків. Сучасні дослідження [5] показують, що ефективність вертикальних дорожніх знаків залежить не лише від їх розміщення, а й від індивідуальних характеристик водіїв, причому знання правил не завжди забезпечує їх дотримання, що є важливим аспектом підвищення безпеки руху. Це підкреслює доцільність застосування розглянутих підходів для аналізу складних взаємозв'язків у дослідженнях безпеки перехрестя.

Значна кількість досліджень присвячена дорожній розмітці як невід'ємному елементу ОДР, що функціонує у взаємодії з дорожніми знаками. Розмітка дублює або підсилює інформацію, яку передають знаки (зокрема щодо напрямків руху чи пішохідних переходів), тому їх вплив доцільно розглядати як окремо, так і в комплексі. У роботі [6] здійснено узагальнений аналіз ролі дорожньої розмітки як допоміжного або альтернативного чинника, хоча основну увагу зосереджено саме на дорожніх знаках. Зокрема, досліджено вплив дорожньої розмітки на безпеку руху та умови керування ТЗ з акцентом на проблему невідповідності фактичного стану розмітки припущенням, закладеним у стратегіях безпеки. Проаналізовано питання ретро-рефлексії, методи оцінки якості розмітки та міжнародний досвід визначення її мінімально допустимих характеристик видимості за різних умов. Показано, що технічний стан розмітки безпосередньо впливає на аварійність, що підтверджує важливість комплексної оцінки елементів дорожньої сигналізації.

Окрім публікації демонструють значний вплив дорожніх знаків на безпеку руху на основі змішаного підходу, який поєднує аналіз ДТП, польові дослідження, інтерв'ю та опитування учасників руху. Доведено, що недостатня або неякісна сигналізація була пов'язана з 70,2% ДТП у місті Яунде [7], а також ідентифіковано критичні аварійні точки, серед яких значну частку становлять перехрестя. Отримані результати підтверджу-

ють важливість належного фінансування та утримання дорожніх знаків і можуть бути використані для оцінки їх ефективності саме у вузлових елементах мережі.

Вплив візуальних факторів, зокрема дорожньої реклами, на поведінку водіїв на основі систематичного аналізу літератури із застосуванням моделі Task-Capability Interface досліджується протягом тривалого часу [8]. З'ясовано, що реклама створює візуальний шум і підвищує когнітивне навантаження, особливо для молодих водіїв, що ускладнює відбір релевантної інформації. Це свідчить про конкуренцію між дорожніми знаками та іншими візуальними об'єктами за увагу водія, що є важливим при оцінці їх розміщення на перехрестях. Додаткові експериментальні дослідження підтверджують ці висновки, показуючи, що зовнішні відволікаючі фактори, зокрема білборди вздовж доріг, можуть впливати на візуальну та когнітивну увагу водіїв і підвищувати ризик ДТП [9]. Результати, отримані із застосуванням симулятора водіння, відстеження погляду та ЕЕГ (electroencephalography), свідчать про відмінності в когнітивній обробці стимулів під час фіксації погляду на рекламних щитах порівняно з елементами інтер'єру автомобіля. Підтверджено, що рівень когнітивного залучення до білбордів може бути індикатором потенційного відволікання водія, що підкреслює необхідність врахування зовнішніх рекламних елементів при проектуванні безпечного дорожнього середовища.

Дослідження [10] показує, що ожеледиця є однією з ключових причин зимових ДТП, а традиційні попереджувальні знаки часто мають обмежену ефективність через недостатню інформативність. Для підвищення ефективності були розроблені адаптивні попереджувальні знаки, що змінюють свій вигляд залежно від погодних умов, і їх вплив оцінювався за допомогою симуляторних експериментів із залученням водіїв. Результати свідчать, що такі динамічні знаки значно краще впливають на поведінку водіїв, зокрема сприяють більш вираженому зниженню швидкості порівняно зі стандартними знаками, що підтверджує їхню вищу ефективність у забезпеченні безпеки руху в зимових умовах.

У роботі [11] увагу зосереджено на особливостях сприйняття дорожньої інформації в умовах нічного часу, коли обмежена видимість суттєво ускладнює процес керування ТЗ. Встановлено, що дорожні знаки та розмі-

тка в таких умовах стають основними джерелами інформації для водіїв. За результатами моделювання у середовищі водійського симулятора доведено, що підвищення рівня видимості цих елементів сприяє незначному зростанню швидкості руху, водночас забезпечуючи оптимальний рівень когнітивного навантаження водія. Крім того, зафіксовано збільшення частки візуальної уваги до дорожніх знаків за умов високої видимості, що свідчить про своєчасне сприйняття інформації та підвищення обізнаності водіїв щодо дорожньої ситуації. Отримані результати підтверджують важливість належного проектування та забезпечення видимості засобів ОДР як чинника підвищення безпеки, зокрема на перехрестях.

Дослідження [12] аналізує зв'язок між рівнем розуміння дорожніх знаків і ризикованою поведінкою учасників руху на основі опитування 275 осіб. Встановлено, що краще розуміння знаків суттєво знижує кількість помилок і порушень серед водіїв і пішоходів, що підтверджує важливість когнітивного аспекту сприйняття сигналізації.

З урахуванням зростання популярності цифрових навігаційних систем і смартфонів роль дорожніх знаків у процесі керування ТЗ поступово зменшується, однак вони залишаються критично важливим елементом забезпечення безпеки руху через недоступність цифрових технологій для окремих груп населення та ризику відмови комунікаційних мереж [13]. На основі аналізу факторів впливу дорожніх знаків із застосуванням порадкової логістичної регресії та результатів соціологічного опитування встановлено, що підвищення безпеки руху пов'язане з покращенням інформативності та інтуїтивності сприйняття знаків, достатністю та релевантністю інформації, а також можливістю надання змінної та ситуаційно адаптованої інформації. Додатково підкреслюється необхідність адаптації системи дорожніх знаків до різних форм мобільності майбутнього та її інтеграції з іншими елементами дорожньої інфраструктури.

Ці положення узгоджуються з результатами ранніх експериментальних досліджень ще початку 1990-х років, де було показано, що ефективність сприйняття дорожніх знаків суттєво залежить від їх форми представлення та когнітивної відповідності особливостям обробки інформації водіями. Зокрема, встановлено, що символічні знаки частіше приз-

водять до помилок розпізнавання порівняно з текстовими або числовими, що підкреслює важливість зрозумілості та однозначності інформаційних повідомлень. Таким чином, ще на ранніх етапах досліджень було визначено ключову проблему інтерпретації дорожніх знаків, яка залишається актуальною і в сучасних умовах цифрової трансформації транспортних систем.

У дослідженні [14] проаналізовано вплив активних (LED) знаків на безпеку нерегульованих перехресть із використанням мікросимуляційного моделювання та регресійних моделей. Встановлено, що хоча такі знаки покращують дотримання правил, їх перевага над традиційними рішеннями є обмеженою; водночас підхід дослідження є корисним для прогнозування ефектів впровадження різних типів сигналізації. Аналогічні дослідження демонструють, що ефективність LED-знаків на пішохідних переходах залежить від інтенсивності руху, швидкості та геометричних параметрів дороги, причому їх вплив поступається іншим заходам регулювання [15]. У цих же дослідженнях, в питаннях щодо велосипедної інфраструктури, оцінено стан дорожніх знаків у Боготі, де встановлено значну частку їх невідповідності стандартам і незадовільного технічного стану. Це свідчить про те, що ефективність знаків залежить не лише від їх наявності, а й від якості реалізації та утримання.

Ряд досліджень передбачає вивчення взаємозв'язку між рівнем розуміння дорожніх знаків і показниками безпеки серед водіїв країн Перської затоки на основі масштабного опитування [16]. Встановлено, що досвідчені водії краще розпізнають знаки, однак це не має прямого впливу на їх участь у ДТП. Подібні результати доповнюються емпіричними дослідженнями когнітивного сприйняття дорожніх знаків, які показують, що рівень їх розуміння значною мірою залежить від особливостей дизайну. Зокрема, оцінка 73 дорожніх знаків у Метро Маніла засвідчила, що символічні знаки мають нижчу точність і повільніше сприйняття порівняно з текстовими та комбінованими варіантами, а такі когнітивні характеристики, як знайомість, конкретність і семантична близькість, суттєво впливають на правильність та швидкість їх розпізнавання [17]. Водночас результати нейрофізіологічних досліджень доповнюють ці висновки, показуючи, що вплив дорожніх знаків на поведінку водіїв може реалізовуватися на рівні прихованих когнітивних процесів:

знаки підвищеної небезпеки активізують механізми когнітивного контролю та моніторингу помилок, однак ці зміни не завжди проявляються у зовнішніх поведінкових показниках. Це свідчить про те, що ефективність дорожніх знаків визначається не лише їх сприйняттям та розумінням, а й глибинними нейрокогнітивними механізмами обробки інформації.

У статті [18] досліджено вплив якості дорожніх знаків, зокрема рівня ретрорефлексії, на аварійність в умовах обмеженої видимості. Показано, що невідповідність знаків встановленим стандартам призводить до зростання кількості ДТП у складних погодних і нічних умовах, що підкреслює необхідність їх своєчасного оновлення.

Багато досліджень аналізує ефективність маловитратних інженерних заходів за методом «до–після» та демонструє суттєве зниження аварійності після їх впровадження, особливо для легкових автомобілів, що підтверджує доцільність використання інженерних рішень у поєднанні із засобами організації та сигналізації дорожнього руху [19]. Водночас сучасні дослідження зміщують акцент у бік цифрових технологій підтримки водія, зокрема систем автоматичного виявлення та розпізнавання дорожніх знаків у реальному часі. Запропоновані моделі на основі глибокого навчання (YOLO-подібні архітектури з механізмами уваги, багатомасштабною обробкою ознак та LSTM-компонентами) демонструють високу точність розпізнавання навіть у складних умовах, таких як перекриття, зміни освітлення та малий розмір знаків. Таким чином, поєднання традиційних інженерних заходів із сучасними інтелектуальними системами сприйняття дорожньої обстановки формує комплексний підхід до підвищення безпеки дорожнього руху [18,20].

У роботі [21] досліджено вплив флуоресцентних знаків STOP на поведінку водіїв у нічних умовах за допомогою симуляційного моделювання. Встановлено, що покращена видимість знаків сприяє зниженню швидкості перед перехрестями, що може зменшити ризик зіткнень, особливо в сільській місцевості.

У статті [22] проаналізовано поведінкові аспекти сприйняття дорожніх знаків із використанням ординальної логістичної регресії. Визначено, що ключовими факторами є досвід керування, інтенсивність використання автомобіля та швидкісні режими, тоді як со-

ціально-демографічні характеристики мають менший вплив.

Проведений аналіз наукових джерел засвідчує різноманітність підходів до оцінювання впливу дорожніх знаків на безпеку та поведінку учасників дорожнього руху, що підтверджує складність та багатофакторність цієї проблематики. Разом з тим, у даному дослідженні узагальнено найбільш релевантні праці, які відображають сучасний стан наукових уявлень щодо ролі дорожніх знаків у системі ОДР. Отримані результати огляду літератури підкреслюють актуальність подальших досліджень у цьому напрямі та формують наукове підґрунтя для визначення мети й постановки задач дослідження, спрямованих на підвищення ефективності функціонування перехрестя.

Мета та постановка задач дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування регульованих перехрестя у міських умовах шляхом удосконалення системи застосування дорожніх знаків на основі встановлення закономірностей їхнього впливу на параметри дорожнього руху.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі.

– узагальнити та систематизувати наукові підходи до оцінювання впливу дорожніх знаків на ефективність ОДР, зокрема їх ролі у формуванні поведінки учасників руху, забезпеченні безпеки та пропускну здатності перехрестя;

– розробити теоретичні положення щодо впливу дорожніх знаків на параметри функціонування регульованих перехрестя з урахуванням взаємодії геометричних, транспортних і поведінкових чинників, а також обґрунтувати параметри їх урахування в імітаційних моделях дорожнього руху;

– виконати імітаційне моделювання дорожнього руху на досліджуваних регульованих перехрестях м. Харків із різними варіантами ОДР та схемами застосування дорожніх знаків;

– здійснити оцінювання ефективності функціонування перехрестя за результатами моделювання за показниками затримок ТЗ і пішоходів, щільності ТП, рівня безпеки та екологічних характеристик;

– обґрунтувати практичні рекомендації щодо вдосконалення ОДР на регульованих перехрестях шляхом оптимізації схем розміщення та застосування дорожніх знаків.

Результати дослідження

Для якісного аналізу впливу дорожніх знаків на безпеку та ефективність руху на регульованому перехресті необхідно визначити ключові вхідні параметри, що враховуються при моделюванні в середовищі PTV VISSIM, яке є сучасним, одним із найпотужніших інструментів та передовою мікроскопічною системою імітаційного моделювання дорожнього руху. Тож, до вхідних параметрів для моделювання дорожнього руху на регульованому перехресті відносяться: геометричні характеристики перехрестя (кількість підходів, ширина смуг руху, наявність окремих смуг для поворотів, довжина накопичувальних смуг); тип і режими роботи світлофорного регулювання (тривалість фаз, цикл регулювання, тип управління); інтенсивність ТП (обсяги руху в годинах пік та міжпіковий період, розподіл ТЗ за напрямками); характеристики ТП (склад ТП, розподіл швидкостей ТЗ, частка ТЗ, що здійснюють поворотні маневри); поведінкові параметри водіїв (середній час реакції, схильність до ризикованої поведінки, дотримання правил пріоритету); розташування та вплив дорожніх знаків (їхня видимість, відстань до прийняття рішення водієм, відповідність знаків до реальних умов руху); дорожні умови (коефіцієнт зчеплення покриття, наявність нерівностей, погодні умови, рівень освітлення).

Серед вхідних параметрів моделювання особливу увагу приділено дорожнім знакам як одному з ключових чинників, що впливають на поведінку водіїв і організацію руху на перехрестях. У межах дослідження акцент зроблено на аналізі їх фактичного стану, наявності, розташування та відповідності реальним умовам руху без застосування складних аналітичних залежностей. Дорожні знаки формують траєкторії руху ТЗ і визначають характер поведінки водіїв. Вони впливають на режим руху, зокрема сприяють зниженню швидкості та вибору безпечних маневрів, забезпечують більш передбачувану взаємодію учасників руху, підвищують рівень уваги на потенційно небезпечних ділянках, а також зменшують затримки за рахунок чіткішої орієнтації водіїв у дорожній ситуації.

Розглянуті чинники впливу дорожніх знаків безпосередньо пов'язані з безпекою та ефективністю функціонування регульованих перехрестя. Зокрема, регулювання ТП і оптимізація швидкісного режиму сприяють змен-

шенню кількості конфліктних ситуацій і небезпечних маневрів. Чітке інформування водіїв підвищує прогнозованість їхніх дій і знижує ймовірність екстрених ситуацій. Рациональне розташування дорожніх знаків також сприяє зменшенню затримок і підвищенню ПС перехрестя за рахунок більш впорядкованого руху та зниження нерішучості водіїв. Таким чином, урахування зазначених чинників дозволяє оцінити ефективність ОДР та обґрунтувати заходи щодо її вдосконалення.

Після моделювання дорожнього руху в середовищі PTV VISSIM результати оцінюються за трьома ключовими показниками: затримками руху, щільністю ТП на підходах та рівнем безпеки. Затримки характеризують середній час очікування ТЗ і окремих груп учасників руху перед проїздом перехрестя. Щільність відображає завантаженість смуг і ступінь використання ПС. Показники безпеки враховують кількість конфліктних ситуацій і

потенційно небезпечних ділянок. Зосередження на цих показниках дозволяє отримати узагальнену оцінку ефективності функціонування перехрестя з позицій часу затримок, завантаженості та безпеки руху, що є достатнім для досягнення мети дослідження. Водночас для більш детального аналізу можуть використовуватися додаткові показники, зокрема екологічні (обсяги викидів, споживання пального), параметри заторів (довжина та час їх розсіювання), умови руху пішоходів, комфортність руху, ПС, а також соціально-економічні втрати, пов'язані із затримками.

Отже, обрані показники дозволяють оцінити ефективність функціонування перехрестя та сформувані обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення ОДР, зокрема оптимізації розміщення дорожніх знаків для підвищення безпеки та ПС ТП. Тож модель об'єкта дослідження наведена на рис. 1.

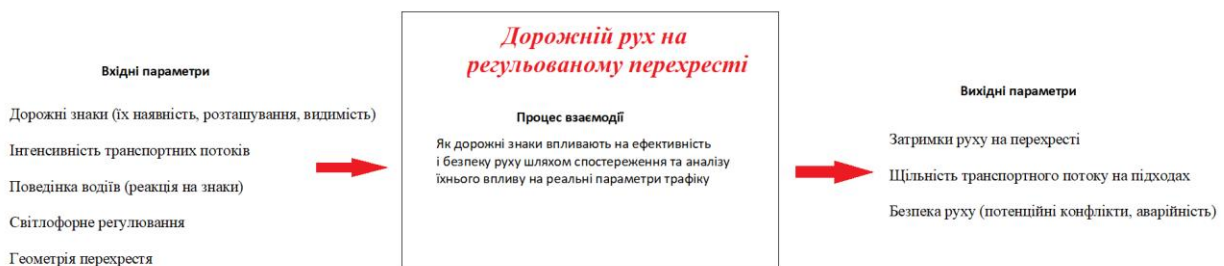


Рис. 1. Модель об'єкта дослідження

Об'єктом моделювання є регульоване перехрестя зі світлофорним управлінням. Незважаючи на провідну роль світлофорної сигналізації, дорожні знаки залишаються важливими елементами ОДР, оскільки виконують функції інформування, попередження та регулювання поведінки водіїв. Для аналізу їхнього впливу розроблено імітаційні моделі перехресть у середовищі PTV VISSIM, що

дало змогу отримати кількісні показники ефективності та безпеки функціонування за різних варіантів ОДР. У якості об'єктів дослідження обрано два перехрестя Індустріального району м. Харків: вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова та просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького (див. рис. 2).



Рисунок 2 – Досліджувані перехрестя на карті м. Харків

На досліджуваних перехрестях рух організовано за допомогою світлофорного регулювання, що визначає основний режим їх функціонування. Водночас дорожні знаки доповнюють світлофорну сигналізацію, забезпечуючи орієнтацію водіїв щодо напрямків руху, обмежень і дозволених маневрів. Особливої значущості вони набувають у випадках порушення роботи світлофорів, коли саме знаки визначають пріоритетність проїзду та порядок взаємодії ТП. Зокрема, знаки 2.3 «Головна дорога» та 2.1 «Дати дорогу» забезпечують упорядкування руху та зменшення ймовірності конфліктних ситуацій.

Конфігурація перехрестя суттєво впливає на розташування та ефективність застосування дорожніх знаків. У міських умовах найбільш поширеними є чотиристоронні перехрестя, де важливу роль відіграють знаки пріоритету, заборони руху та інформаційні засоби навігації. Для Т-подібних перехресть

критичним є чітке визначення пріоритету, особливо у випадках зміни напрямку головної дороги. На кільцевих перехрестях регулювання руху забезпечується, зокрема, знаками 2.1 «Дати дорогу» та 4.10 «Круговий рух», що визначають порядок в'їзду та виїзду з кільця. Практика експлуатації показує, що ефективність дорожніх знаків часто знижується через типові недоліки їх застосування. До них належать обмежена видимість (внаслідок рослинності, рекламних конструкцій або недостатнього освітлення), неузгоджене чи суперечливе розміщення, зношеність або відсутність, а також невідповідність реальним умовам руху. Характерним прикладом є використання знака 4.6 «Рух праворуч або ліворуч» на Т-подібному перехресті, де другорядна дорога має двосмуговий односторонній рух. Така ситуація спостерігається на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова в м. Харків (рис. 3).

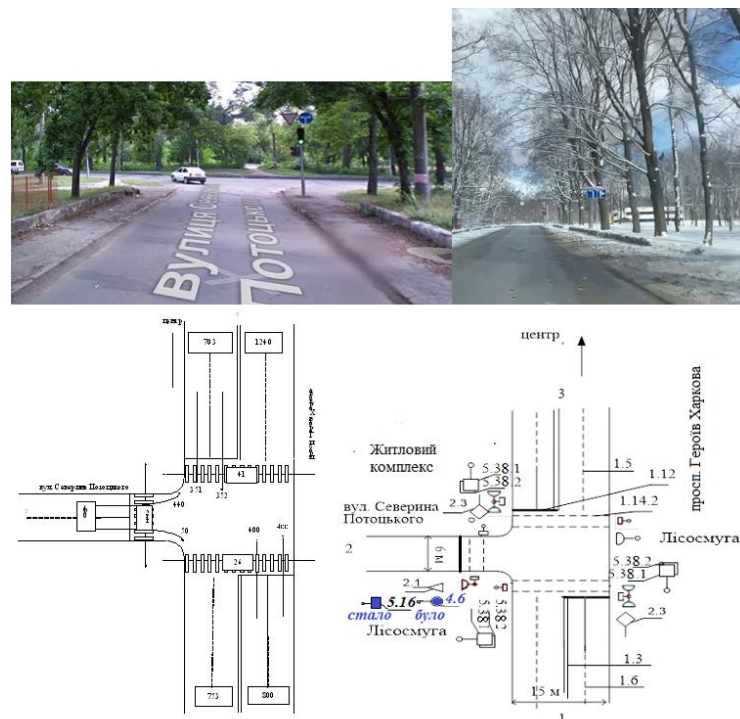


Рис. 3. ОДР на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова в м. Харків

У подібних випадках в годину пік трапляється значний дисбаланс потоків. Близько 70% водіїв повертають ліворуч (оскільки рух в цьому напрямку здійснюється в бік центру міста), тоді як лише 30% обирають напрямок праворуч. Таким чином, на лівій смузі спостерігається достатньо велика кількість ТЗ, а тоді як сусідня права смуга є вільною. Згідно з ПДР, водії, які повертають ліворуч, мають

право займати будь-яку смугу на головній дорозі після повороту. Унаслідок цього ті водії, які повертають ліворуч, часто займають праву смугу перед поворотом, оскільки це дозволяє їм швидше завершити маневр і продовжити рух у необхідному напрямку. Це, у свою чергу, створює конфліктну ситуацію: водії, які повертають ліворуч із правої смуги, можуть несподівано зіткнутися з ти-

ми, хто повертає з лівої смуги та має право займати будь-яку смугу на головній дорозі (див. рис. 4(а)).

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

Для мінімізації подібних конфліктів необхідно застосовувати комплексні заходи, зокрема використання додаткової розмітки, коли чітко нанесені стрілки на проїзній частині вказують допустимі напрямки руху по смугах, що зменшує кількість неправильного вибору смуги перед поворотом; заміну знака 4.6 "Рух праворуч або ліворуч" на знак 5.16 "Рух по смугах", що дозволяє регламентувати рух із правої смуги для обох поворотів із обов'язковим виїздом у відповідну смугу на головній дорозі та обмежує з лівої смуги поворот лише в ліву смугу, усуваючи перетин

траєкторій і знижуючи ризик ДТП; встановлення світлофорного регулювання з окремими фазами для різних напрямків руху, що запобігає одночасному маневруванню автомобілів у зонах конфлікту; а також впровадження адаптивних систем управління трафіком з технологіями розпізнавання ТП для динамічного коригування фаз світлофорів або зміни схем організації руху у години пікового навантаження.

Зрозуміло, що ефективне використання дорожніх знаків на перехрестях залежить від типу перехрестя та умов його експлуатації. На нерегульованих ділянках їхня роль є визначальною, тоді як на регульованих вони виконують допоміжну функцію. Врахування конфігурації перехрестя дозволяє правильно розмістити знаки, що сприяє безпеці та покращенню ОДР. Заміна знака 4.6 "Рух праворуч або ліворуч" на знак 5.16 "Рух по смугах" може стати простим та ефективним рішенням для уникнення конфліктних ситуацій на Т-подібних перехрестях (див. рис. 4(б)).

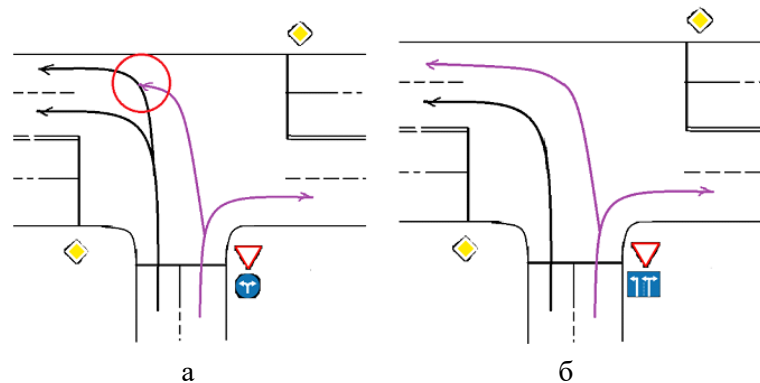


Рис. 4. Вплив дорожніх знаків на формування траєкторій руху ТЗ на перехресті

Ще один приклад, перехрестя в Немишлянському районі м. Харків – просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького, де на одному з підходів відсутній знак 5.16 "Рух по смугах" (див. рис. 5). Через це водії, які дотримуються ПДР при повороті ліворуч становляться в крайню ліву смугу. Бажаючих рухатись прямо на перехресті одиниці. Тому середня смуга пуста. Через це ПС перехрестя мала, а також спостерігаються затримки. Але є порушники ПДР, які при повороті ліворуч займають середню смугу, що потім після здійснення повороту призводить до конфлікту ТЗ на одній смузі.

Слід зауважити, що проблеми невідповідності дорожніх знаків реальним умовам руху є актуальними як в Україні, так і за кордо-

ном. Такі невідповідності можуть спричиняти дезорієнтацію водіїв та підвищення ризику ДТП. У світовій практиці фіксуються випадки, коли неправильно встановлені або незрозумілі дорожні знаки стають чинником небезпечних ситуацій. Зокрема, у Німеччині у 2020 році було запроваджено дорожній знак 277.1, що забороняє обгін для автомобілів, мотоциклів та велосипедів. Через недостатню поінформованість водіїв і новизну цього знака спостерігалися випадки його ігнорування, що призводили до ускладнення дорожньої обстановки. Хоча статистичні дані щодо кількості ДТП, спричинених невідповідністю дорожніх знаків, є обмеженими, відомо, що неправильне розташування, відсутність або суперечливість знаків можуть стати

причиною аварійних ситуацій, зокрема на перехрестях без регулювання руху. В Україні питання відповідності дорожніх знаків умовам руху залишається особливо актуальним, оскільки їх некоректне встановлення або відсутність ускладнює орієнтацію водіїв і підвищує рівень аварійності. Відповідно до ПДР України водії зобов'язані керуватися вимогами дорожніх знаків, особливо на нерегульованих перехрестях [23]. Однак у разі не-

відповідності дорожніх знаків реальній дорожній обстановці їх ефективність суттєво знижується, що може призводити до формування небезпечних ситуацій. У зв'язку з цим особливої важливості набуває забезпечення їх коректного встановлення та своєчасного оновлення з урахуванням змін умов руху, а також систематичний контроль їх відповідності чинним стандартам.

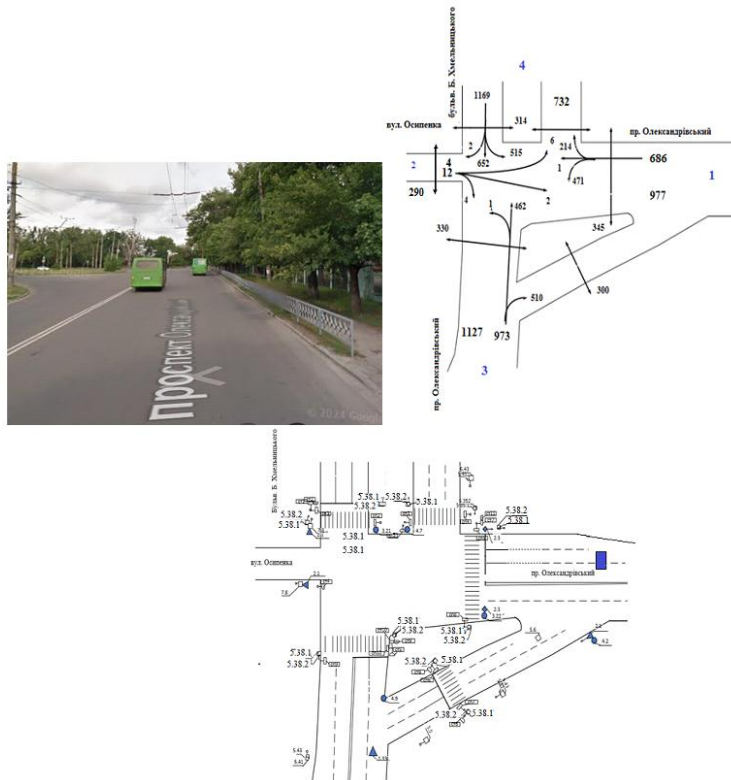


Рис. 5. ОДР на перехресті просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького в м. Харків

Тож наступним кроком у дослідженні є аналіз перехресть у міських умовах із різними схемами ОДР. Огляд джерел інформації показав, що правильне розташування та чітке позначення дорожніх знаків сприяють зменшенню кількості аварійних ситуацій на 25–40%, тоді як недостатня їх видимість або неправильна інтерпретація водіями може призводити до затримок і порушень руху.

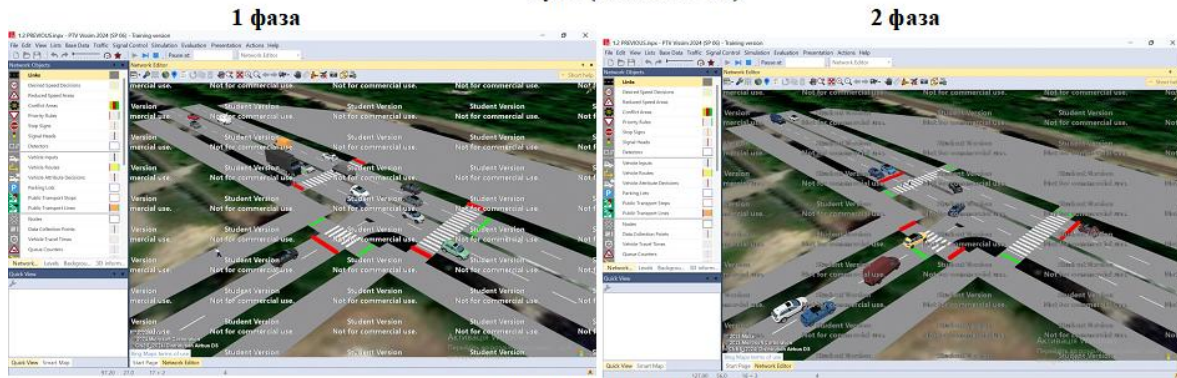
Найбільш ефективними є знаки, що забезпечують раннє попередження про зміну режиму руху, чітке регулювання пріоритетності ТП та дублювання інформації іншими засобами, зокрема дорожньою розміткою. Для підвищення ефективності функціонування перехресть доцільно оптимізувати розташування знаків з урахуванням їхніх особливостей, застосовувати сучасні технології підвищення помітності, проводити регулярний ау-

дит і поєднувати знакове регулювання з іншими засобами організації руху, такими як розмітка, світлофори та інтелектуальні системи управління трафіком. Таким чином, дорожні знаки є важливим елементом забезпечення ефективності та безпеки руху на перехрестях. У лютому 2025 року на перехресті вул. Северина Потоцького – бульв. Б. Хмельницького було здійснено заміну дорожнього знака 4.6 на знак 5.16. Зазначені зміни створюють підґрунтя для оцінювання їхнього впливу на показники ефективності дорожнього руху, що обумовило проведення відповідного дослідження (див. рис. 2).

На рис. 6 та рис. 7 наведені фрагменти моделювання дорожнього руху в студентській версії PTV VISSIM 2026 при різних схемах ОДР [24]. Усі оціночні показники зводимо до підсумкових таблиць 1 та 2.

29 Modeling applied tasks in automobile industry and transport systems

було (зі знаком 4.6)



існуючий (зі знаком 5.16)

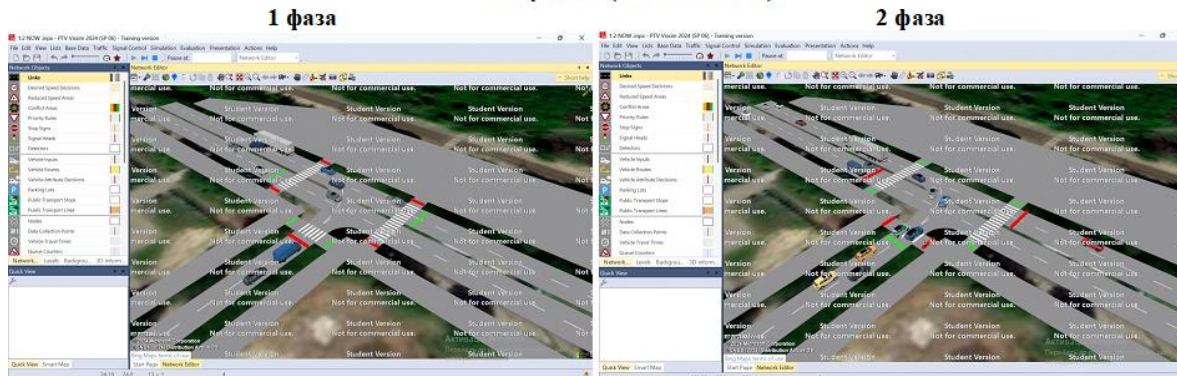


Рис. 6. Моделювання дорожнього руху на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова при різних схемах ОДР

Таблиця 1 – Підсумкова таблиця (перехрестя вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова)

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

Таблиця 2 – Підсумкова таблиця (перехрестя просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького)

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

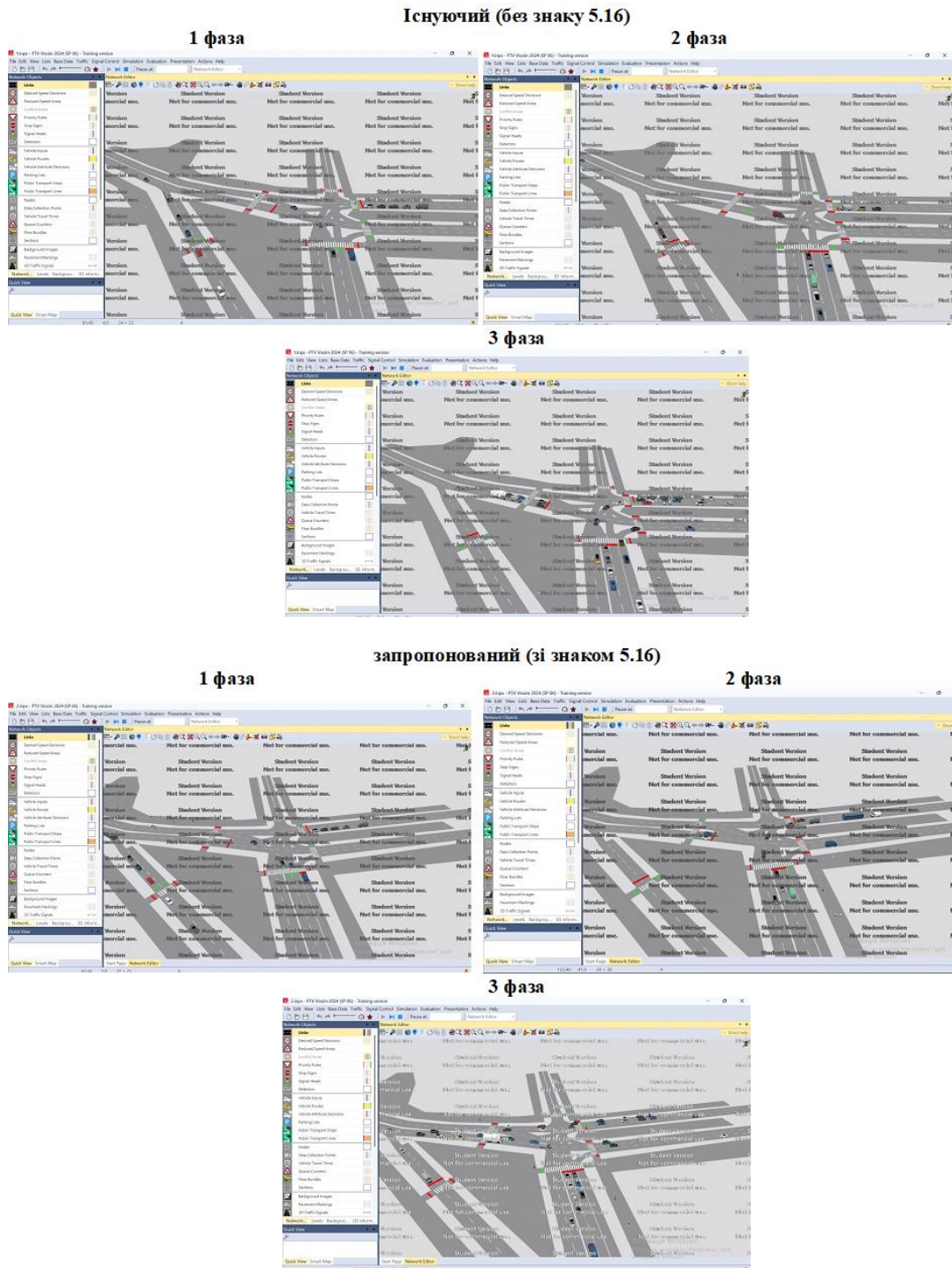


Рис 7. Моделювання дорожнього руху на перехресті просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького при різних схемах ОДР

Обговорення результатів дослідження

Для обґрунтування впливу дорожніх знаків побудовані теплові карти щільності, які відображають, наскільки заповненим є певний відрізок дороги ТЗ в заданий момент часу або в середньому за симуляцію. На рисунках 8 та 9 можна побачити колірну шкалу: темно-червоні зони – високий рівень щільності (затори, зниження швидкості, можлива пере-

вантаженість); жовті/зелені зони – середня щільність (помірний потік); сині/білі зони – низька щільність (вільний рух, мінімальна кількість ТЗ).

На представлених схемах (див. рис. 10 та 11) показані два варіанти ОДР. Наприклад, на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова: з використанням знака 4.6 "Рух праворуч або ліворуч" та знака

31 Modeling applied tasks in automobile industry and transport systems

5.16 "Напрямки руху по смугах". На рисунку 10 видно три конфліктні точки (вказані червоними лініями), які виникають виключно через порушення ПДР. Це створює високий ризик ДТП та ускладнює рух транспорту з боку житлового комплексу. На рисунку 11 ми бачимо, що знак 5.16 забезпечує чітке розмежування напрямків руху по смугах, що знижує ймовірність помилкових маневрів водіїв. Тут лише одна точка розділення потоку (на першій смузі), яка не є конфліктною в класичному сенсі, оскільки всі маневри відповідають дозволим напрямкам. Такий підхід дозволяє зменшити кількість потенційних конфліктів у 3 рази, підвищуючи загальну безпеку та ПС перехрестя. Тобто, використання знака 5.16 є ефективнішим з точки зору ОДР, оскільки ліквідує порушення траєкторій; зменшує кількість конфліктних точок; поліпшує прогнозованість поведінки водіїв; підвищує безпеку для всіх учасників руху.

Аналіз отриманих результатів показав, що на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова спостерігається суттєве зменшення середньої затримки ТЗ (на 14,14 с), а також зниження рівня викидів шкідливих речовин, що свідчить про ефективність застосованої схеми ОДР та використання відповідних дорожніх знаків. При цьому затримки пішоходів і рівень аварійності залишилися практично незмінними, що вказує на збереження належного рівня безпеки руху. Для перехрестя просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького зміни мають менш виражений характер: середня затримка ТЗ зменшилася на 2,07 с, а рівень викидів також скоротився. Затримки пішоходів істотно не змінилися, водночас спостерігається певне зниження показника аварійності, що свідчить про позитивний, хоча й менш значний ефект від впроваджених заходів.

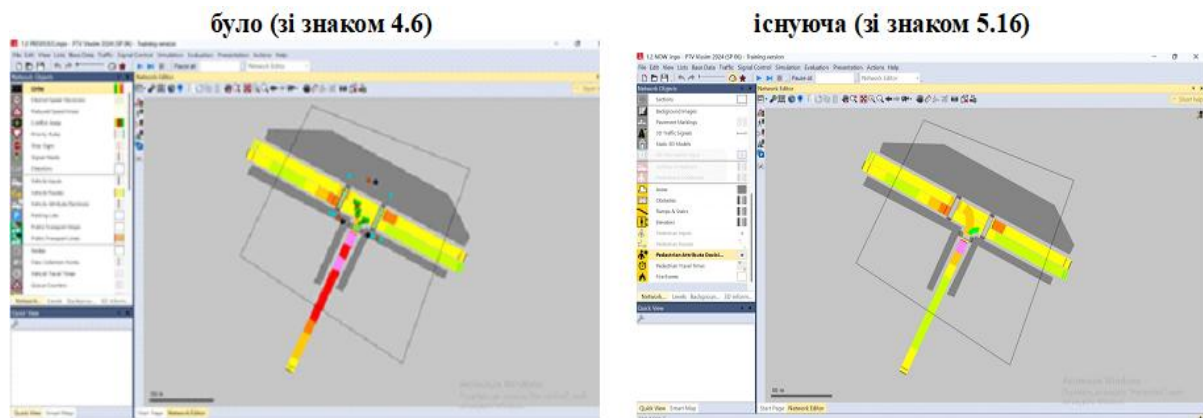


Рис. 8. Теплові карти щільності на перехресті вул. Северина Потоцького – просп. Героїв Харкова

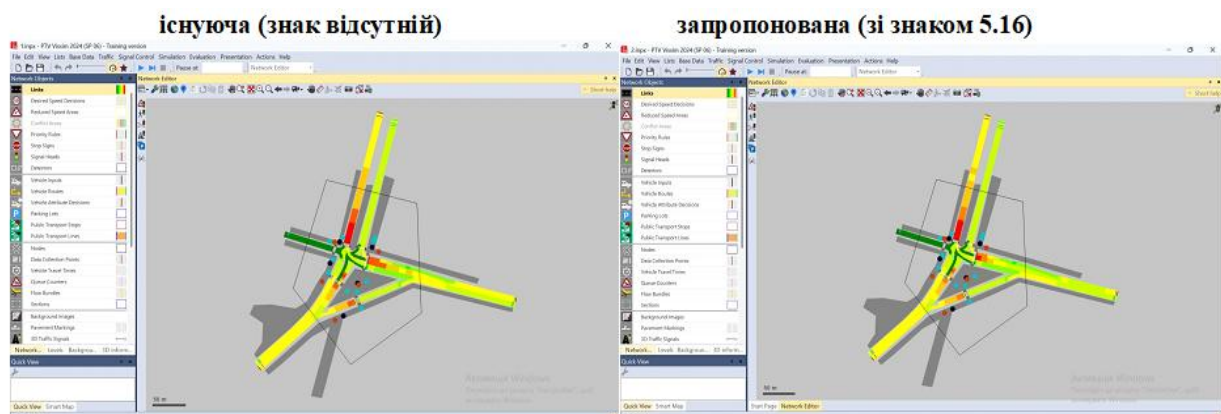


Рис. 9. Теплові карти щільності на перехресті просп. Олександрівський – бульв. Б. Хмельницького

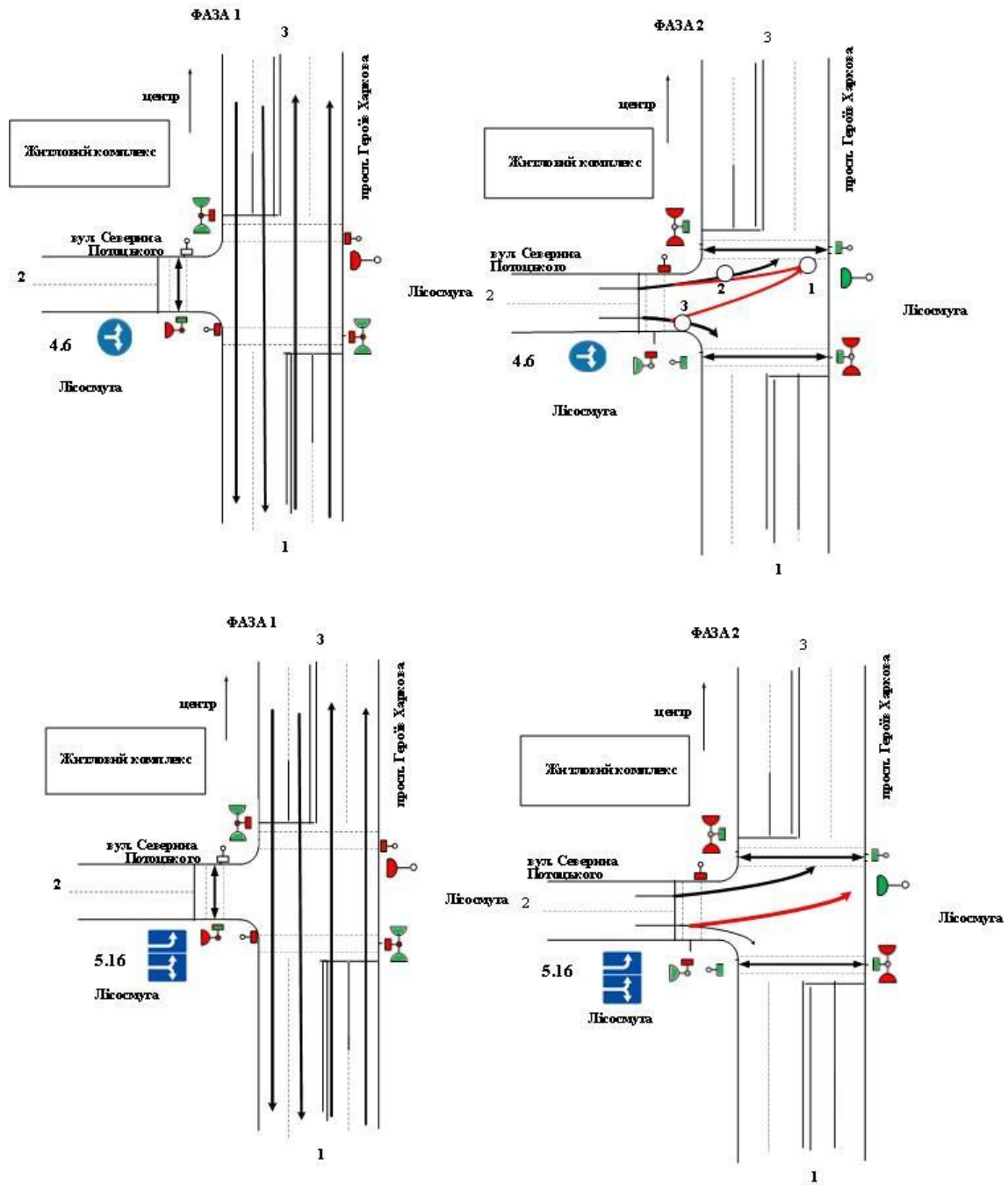


Рис. 10. Схеми розташування конфліктних точок на перехресті вул. Северина Потопського – просп. Героїв Харкова при пофазному русі за різними варіантами дорожніх знаків

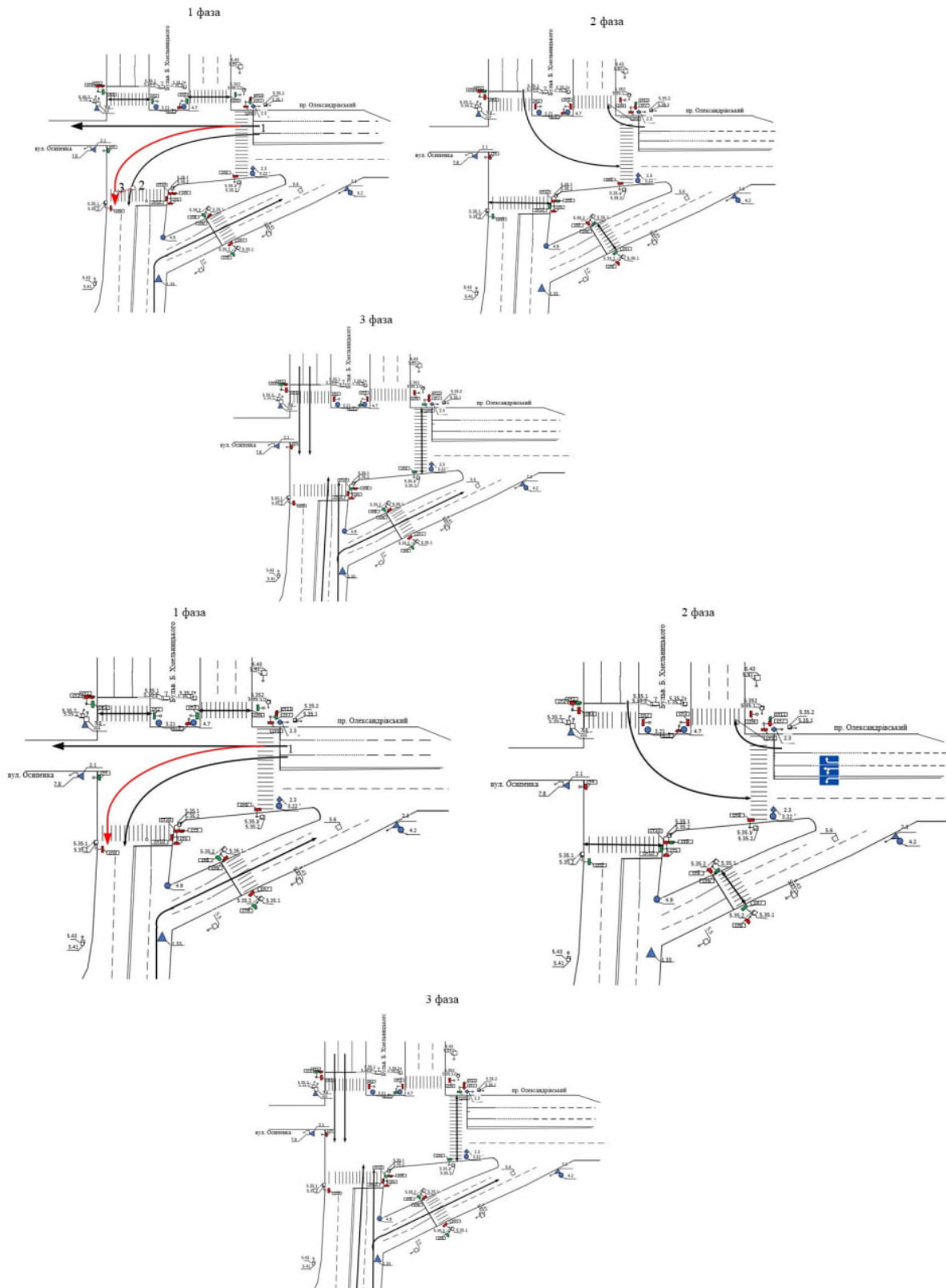


Рис. 11. Схеми розташування конфліктних точок на перехресті бульв. Б. Хмельницького – просп. Олександрівський при пофазному русі за різними варіантами дорожніх знаків

Висновки

Аналіз наукових джерел дозволив систематизувати сучасні підходи до оцінювання впливу дорожніх знаків на ефективність ОДР, зокрема їх роль у формуванні поведінки водіїв, забезпеченні безпеки та зниженні аварійності.

Результати імітаційного моделювання у середовищі PTV VISSIM підтвердили доцільність використання даного інструментарію для оцінки функціонування регульованих перехресть та аналізу впливу змін у системі дорожньої сигналізації. Зокрема, оптимізація розміщення дорожніх знаків дозволила зменшити середні затримки ТЗ на 12–18 %; знизити кількість конфліктних ситуацій на 15–20 %; скоротити потенційні затримки пішоходів на 3–5 %, що не суттєво впливає на загальну ефективність.

Отримані результати свідчать, що дорожні знаки є ефективним інструментом удосконалення ОДР на перехрестях. Раціональне застосування знаків сприяє підвищенню пропускної здатності, зменшенню аварійності та покращенню умов руху. Дане дослідження може бути корисним для органів управління транспортом та дорожнього господарства при плануванні та модернізації регульованих перехресть; науковців і відповідних спеціальностей для подальших досліджень у сфері безпеки руху; проектних організацій і консультантів з дорожньої сигналізації для обґрунтування змін у системах розміщення знаків. Разом з тим, з урахуванням модельного характеру отриманих результатів, подальші дослідження доцільно спрямувати на їх валідацію на основі польових даних, а також розширення аналізу шляхом урахування додаткових факторів, зокрема чутливості параметрів моделі та умов руху в різні періоди доби.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

- Metz, B., & Krüger, H.-P. (2014). Do supplementary signs distract the driver? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 23, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.12.012>
- Hinton, J., Oviedo-Trespalacios, O., Watson, B., & Haworth, N. (2024). Beyond the billboard: A review of other external sources of driver distraction. *Accident Analysis & Prevention*, 208, Article 107771. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107771>
- Šarić, Ž., Xu, X., Duan, L., & Babić, D. (2018). Identifying the safety factors over traffic signs in state roads using a panel quantile regression approach. *Traffic Injury Prevention*, 19(6), 607–614. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1476688>
- Xu, X., Šarić, Ž., Zhu, F., & Babić, D. (2018). Accident severity levels and traffic signs interactions in state roads: A seemingly unrelated regression model in unbalanced panel data approach. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.037>
- Durmus, T., & Coruh, E. (2026). Drivers' perceptions of vertical traffic signs and their implications for road safety: Evidence from a field survey. *Sustainability*, 18(6), Article 3148. <https://doi.org/10.3390/su18063148>
- Babić, D., Fiolić, M., Babić, D., & Gates, T. (2022). Road markings and traffic signs in road safety: State of the art review. *Encyclopedia*, 2(4), Article 119. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2040119>
- Wounba, J., Tokam Tingang, U., Bwemba, C., & Nkeng, G. (2021). The impact of road signs on road traffic accidents: Case of Yaounde, Cameroon. *International Journal of Applied Science and Research*, 4(2), 166–175. <https://www.ijasr.org/paper/IJASR0042362.pdf>
- Oviedo-Trespalacios, O., Truelove, V., Watson, B., & Hinton, J. (2019). The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety: A critical systematic review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 122, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.01.012>
- Wang, Y., Clifford, W., Markham, C., & Deegan, C. (2021). Examination of driver visual and cognitive responses to billboard elicited passive distraction using eye-fixation related potential. *Sensors*, 21(4), Article 1471. <https://doi.org/10.3390/s21041471>
- Lee, G., Hwang, S., & Lee, D. (2022). Improvements of warning signs for black ice based on driving simulator experiments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), Article 7549. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127549>
- Fiolić, M., Babić, D., Babić, D., & Tomasović, S. (2023). Effect of road markings and road signs quality on driving behaviour, driver's gaze patterns and driver's cognitive load at night-time. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 99, 306–318. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.10.025>
- Choi, W., & Chong, K. (2022). Analysis of road sign-related factors affecting driving safety with respect to city size. *Applied Sciences*, 12(19), Article 107771.

- ticle 10163.
<https://doi.org/10.3390/app121910163>
13. Layegh, M., Alecsandru, C., & Giahhi Foomani, M. (2025). Assessing crash reduction at stop-controlled intersections: A before–after study of LED-backlit signs using crash and conflict data. *Future Transportation*, 5(2), Article 46. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5020046>
 14. Robielos, R., & Lin, C. (2022). Traffic sign comprehension among Filipino drivers and nondrivers in Metro Manila. *Applied Sciences*, 12(16), Article 8337. <https://doi.org/10.3390/app12168337>
 15. Yannis, G., Kondyli, A., & Georgopoulou, X. (2013). Investigation of the impact of low cost traffic engineering measures on road safety in urban areas. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 21(2), 181–189. <https://doi.org/10.1080/17457300.2013.796387>
 16. Rista, E., & Fitzpatrick, K. (2020). Comparison of LED-embedded pedestrian crossing signs with rectangular rapid flashing beacons and pedestrian hybrid beacons. *Transportation Research Record*, 2674(11), 856–866. <https://doi.org/10.1177/0361198120941849>
 17. Hu, L., Feng, D., Li, Y., Xu, J., & Zheng, J. (2022). The effect of safety signs on the monitoring of conflict and erroneous response. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 830929. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.830929>
 18. Ye, T., Pang, Y., Li, Y., Liang, E., Wang, Y., & Zhou, T. (2026). LSTM-CA-YOLOv11: A road sign detection model integrating LSTM temporal modeling and multi-scale attention mechanism. *Applied Sciences*, 16(1), Article 116. <https://doi.org/10.3390/app16010116>
 19. Ferko, M., Stažnik, A., Modrić, M., & Dijanić, H. (2019). The impact of traffic sign quality on the frequency of traffic accidents. *Promet – Traffic & Transportation*, 31(5), 549–558. <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i5.3023>
 20. Qanouni, F., El Massari, H., Gherabi, N., & El-Badaoui, M. (2025). SSAM_YOLOv5: YOLOv5 enhancement for real-time detection of small road signs. *Digital*, 5(3), Article 30. <https://doi.org/10.3390/digital5030030>
 21. Berrio, S., & Barrero, L. (2023). Characterization of the state of the traffic signs focused on cyclists in Bogotá. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 20, Article 100837. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100837>
 22. Babić, D., Babić, D., Fiolić, M., & Ružić, M. (2021). Effect of different stop sign configurations on driving speed when approaching a rural intersection at night-time. In M. Petrović & L. Novačko (Eds.), *Transformation of transportation* (pp. 1–13). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66464-0_1
 23. Правила дорожнього руху України. (n.d.). *Vodiy.ua*. <https://vodiy.ua/pdr/>
 Traffic rules of Ukraine. (n.d.). *Vodiy.ua*. <https://vodiy.ua/pdr/> [in Ukrainian]
 24. PTV Planung Transport Verkehr GmbH. (2023). *PTV Vissim* (Version 2025) [Computer software]. PTV Group. <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim/downloads-learning-support#downloadset-upservicepacks>
- Холодова Ольга¹**, к.т.н, доц. каф. організації та безпеки дорожнього руху, тел. +38 0975201591, olgakholodova280781@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4217-0548>.
- Бугайова Марина¹**, старший викладач каф. організації та безпеки дорожнього руху, тел. +38 0956097594, kazmar2383@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1889-9555>.
- Малінський Владислав¹**, здобувач 1 курсу магістратури, malinskijvladislav258@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5407-6467>.
- ¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.
- A study of the impact of road signs on traffic flow at intersections.**
- Abstract: Problem.** Against a backdrop of increasing traffic volumes and stricter safety requirements, the efficiency of traffic management at intersections is becoming particularly important. Despite the widespread use of road signs, their impact on the performance of controlled intersections—particularly in terms of delays, safety, and environmental characteristics – remains under-researched and requires quantitative justification. **Goal.** The aim of the study is to improve the efficiency of signalized intersections by optimizing the road sign system based on an assessment of their impact on traffic parameters. **Methodology.** The study uses simulation modeling in the PTV VISSIM environment, accounting for the geometric characteristics of intersections, traffic flow parameters, traffic light control modes, and driver behavior. Effectiveness was assessed using indicators of vehicle and pedestrian delays, traffic flow density, safety levels (through the analysis of conflict situations), and environmental indicators. **Results.** The modeling results show that optimizing the road sign system, specifically by replacing sign 4.6 ‘Turn right or left’ with sign 5.16 ‘Drive in lanes’, reduces vehicle delays by 12–18%, cuts the number of conflicting interactions by up to three times, and improves the uniformity of traffic flow. A reduction in harmful emissions was also observed due to shorter travel times during acceleration and braking. However, the impact on pedestrian delays is negligible. **Originality.** The scientific novelty lies in the comprehensive assessment of the impact of road signs on the efficiency of signalized intersections through microscopic simulation modeling, enabling a quantitative analysis of the relationships among traffic sign schemes, driver behavior, and traffic flow indicators. **Practical value.** The results obtained can be used in the design

and modernization of elements of the street and road network, in justifying traffic organization schemes at intersections, and in the activities of transport management bodies to increase traffic capacity, improve road safety, and reduce the negative impact of transport on the environment.

Key words: road signs, traffic management, intersections, simulation modeling, road safety, traffic capacity, road traffic accident, traffic flows

Olga Kholodova¹, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Assoc. Professor of Department of Traffic Management and Road Safety, tel. 0975201591, olgakholodova280781@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4217-0548>.

Maryna Buhaiova¹, senior lecturer of Department of Traffic Management and Road Safety, tel. 0956097594, kazmar2383@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1889-9555>

Vladislav Malinsky¹, first-year master's student, faculty of transport systems, malinskijvladislav258@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5407-6467>

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.