

ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ
ДІАГОНАЛЬНИХ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ
НА ПЕРЕХРЕСТЯХ М. ХАРКІВ

О.О. Холодова¹, М.О. Бугайова²

¹канд. техн. наук, доцент кафедри «Організації та безпеки дорожнього руху»,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-4217-0548

²ст. викл. кафедри «Організації та безпеки дорожнього руху»,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-9101-9959

Анотація

Вступ. Покращення міської мобільності є важливим для якості життя та екології міст. Розвиток громадського транспорту, велосипедних доріжок і пішохідних зон знижує затори та викиди парникових газів. Організація пішохідного руху підвищує безпеку та комфорт пересування. Серед сучасних рішень – діагональні пішохідні переходи (ДПП), які дозволяють перетинати перехрестя у будь-якому напрямку. Вони зменшують затримки руху та ризики ДТП, стаючи популярним вибором у сучасних містах. **Мета.** Ця стаття присвячена обґрунтуванню необхідності та попередній оцінці впровадження ДПП. Відсутність таких рішень створює незручності для пішоходів і підвищує ризик ДТП на перехрестях з інтенсивним рухом. Дослідження базується на аналізі успішного міжнародного досвіду через обмеження місцевої інфраструктури. **Результати.** Дослідження ДПП демонструють їх ефективність у підвищенні безпеки пішоходів і зниженні конфліктів із транспортом. Приклади успішного впровадження є в багатьох містах світу. В Україні такі переходи з'явилися не у всіх містах, хоча міжнародний досвід доводить важливість застосування технологічних рішень для оптимізації дорожнього руху та безпеки пішоходів. У дослідженні проаналізовано можливість впровадження ДПП на прикладі перехрестя вулиць Європейська – Патріарха Мстислава – Остапа Вишні в м. Полтава. Визначено критерії для його введення, запропоновано дві схеми пофазного роз'їзду, проведено моделювання дорожнього руху та оцінено ефективність змін за показниками затримок, безпеки та екологічного впливу. **Висновки.** Результати моделювання та аналізу функціонування досліджуваного перехрестя вказують на ефективність впровадження ДПП. Встановлено середнє зниження затримок руху транспортних засобів (ТЗ) і пішоходів, обсягу витрат палива та довжини заторів приблизно на 10%. Це підтверджує раціональність впровадження ДПП для оптимізації пропускної здатності перехрестя та зменшення транспортних витрат. Враховуючи високий рівень інтенсивності транспортних потоків (ТП) у м. Харків, впровадження ДПП є перспективним рішенням для підвищення безпеки пішоходів та покращення організації руху.

Ключові слова: діагональний пішохідний перехід, перехрестя, дорожній рух, схема пофазного роз'їзду, безпека, моделювання

JUSTIFICATION OF THE NEED TO INTRODUCE DIAGONAL PEDESTRIAN
CROSSINGS AT THE INTERSECTIONS OF KHARKIV

O.O. Kholodova¹, M.O. Buhaiova²

¹Candidate of Engineering Sciences (Ph.D),
Associate Professor at the Department of Traffic Management and Road Safety,
Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-4217-0548

²Senior Lecturer at the Department of Traffic Management and Road Safety,
Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-9101-9959

Summary

Introduction. Improving urban mobility is important for the quality of life and the environment of cities. Developing public transport, bicycle paths, and pedestrian areas reduces congestion and greenhouse gas emissions. The organization of pedestrian traffic increases the safety and comfort of movement. Modern solutions include diagonal pedestrian crossings (DPC), which allow people to cross intersections in either direction. They reduce traffic delays and the risk of accidents, making them a popular choice in modern cities. **Purpose.** This article focuses on the rationale and preliminary assessment of the feasibility of implementing DPC. The absence of such solutions inconveniences pedestrians and increases the risk of accidents at intersections with heavy traffic. The study is based on the analysis of successful international experiences due to local infrastructure limitations. **Results.** Studies of DPC demonstrate their effectiveness in improving pedestrian safety and reducing conflicts with vehicles. There are examples of successful implementation in many cities around the world. In Ukraine, such crossings have not appeared in all cities, although international experience proves the importance of applying technological solutions to optimize traffic flows and pedestrian safety. The study analyses the possibility of introducing a DPC, using the example of the intersection of Evropeiska – Patriarch Mstyslav – Ostap Vyshnia streets in Poltava. The criteria for its implementation are defined, it is proposed to consider two schemes of crossing the carriageway by pedestrians, traffic modeling is carried out, and the effectiveness of changes in terms of delays, safety, and environmental impact is assessed. **Conclusions.** The modeling and analysis results of the functioning of the studied intersection indicate the effectiveness of DPC implementation. An average reduction of vehicle and pedestrian delays, fuel consumption, and congestion length by about 10% was found. This confirms the rationality of implementing DPC to optimize intersection capacity and reduce transport costs. Given the high level of traffic in Kharkiv, DPC is a promising solution for improving pedestrian safety and traffic management.

Key words: diagonal pedestrian crossing, intersection, traffic, phase separation scheme, safety, modeling.

Вступ. Покращення міської мобільності є важливим для багатьох аспектів життя сучасного міста. Щоденні затори у великих містах призводять до втрат часу, підвищення рівня стресу та зниження продуктивності. Покращення

транспортної інфраструктури, включаючи громадський транспорт, велосипедні доріжки та пішохідні зони, сприяє зменшенню кількості приватних автомобілів на дорогах і зниженню заторів. До того ж транспорт є одним з основних джерел викидів парникових газів у містах. Переходячи на екологічні види транспорту (електробуси, велосипедний рух, пішохідні прогулянки), міста можуть зменшити викиди, покращити якість повітря та сприяти боротьбі зі зміною клімату. Добре спланована мобільність дозволяє жителям швидко та зручно пересуватися містом, витрачаючи менше часу на дорогу. Це дає більше часу для роботи, відпочинку і спілкування з родиною та друзями. Розвиток доступної транспортної інфраструктури (наприклад, безбар'єрного доступу до громадського транспорту) забезпечує рівний доступ до всіх частин міста для людей з обмеженими можливостями, літніх людей, батьків з дитячими візками тощо. Ефективна мобільність сприяє економічному розвитку, оскільки полегшує доступ до робочих місць, освітніх та культурних установ, стимулює підприємництво і туризм. Водночас зменшення заторів знижує витрати на паливо та обслуговування ТЗ. Заохочення до активного транспорту (пішки чи на велосипеді) сприяє поліпшенню фізичного здоров'я жителів, зменшуючи ризики захворювань, пов'язаних з малорухливим способом життя. Все перелічене робить покращення міської мобільності ключовим завданням для сучасних міст. Тому багато міст, включаючи українські, активно працюють над реформуванням своїх транспортних систем.

Одним з основних напрямків реформування є організація пішохідного руху, яка відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та зручності пересування містом. Пішохідні зони мають бути спроектовані таким чином, щоб мінімізувати ризики ДТП і конфліктів між пішоходами та ТЗ, а також сприяти швидкому й комфортному руху. Відомими методами організації пішохідного руху є [1]: традиційні пішохідні переходи (класичні «зебри» з горизонтальною розміткою, які встановлюються на кожному перехресті для безпечного перетину дороги); надземні та підземні переходи (забезпечують безпечний перетин великих і жвавих доріг, ізолюючи пішоходів від автомобільного руху); пішохідні зони (вулиці або площі, повністю закриті для автомобільного руху, що створює простір для прогулянок, торгівлі та відпочинку); світлофорне регулювання (пішоходи отримують можливість перетинати дорогу за сигналами світлофора, що синхронізується з транспортним рухом); островки безпеки (невеликі зони посередині широких доріг, які дозволяють пішоходам перетинати дорогу у два етапи) тощо.

Серед цих методів дуже популярними стають ДПП [2]. Вони дають можливість пішоходам перетинати перехрестя в будь-якому напрямку, включаючи по діагоналі, під час спеціальної фази світлофора, коли весь транспортний рух зупиняється. Такий підхід не лише підвищує ефективність перетину доріг, але й суттєво знижує ризик ДТП, особливо у щільно населених міських районах. Діагональні переходи дедалі частіше впроваджуються в сучасних містах, які прагнуть зробити свої вулиці безпечнішими та зручнішими для пішоходів.

Постановка проблеми. Світова практика вже давно демонструє ефективність діагональних переходів. В Україні подібний досвід уже впроваджений у деяких містах, проте м. Харків досі залишається без таких інноваційних рішень. Відсутність діагональних переходів у місті створює незручності для пішоходів та підвищує

ризик ДТП на жвавих перехрестях. Вчені ХНАДУ визнають нагальну необхідність впровадження таких рішень у Харкові, враховуючи його масштабну транспортну мережу та високу щільність населення. У зв'язку з цим актуальність дослідження полягає в обґрунтуванні потреби та розробці пропозицій щодо впровадження ДПП на перехрестях м. Харків. Через відсутність відповідної інфраструктури та можливості проведення експериментів у м. Харків, дослідження базуватиметься на аналізі успішного досвіду та спроб впровадження ДПП в інших містах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ДПП, або так звані «пішохідні зебри Х», – це особливий тип перехресть, де пішоходам дозволяється переходити дорогу в усіх напрямках одночасно, включаючи по діагоналі. Такі переходи створюються для покращення пішохідного руху і зниження кількості конфліктних ситуацій між пішоходами та ТЗ. Їх основними перевагами є те, що завдяки можливості перетину в будь-якому напрямку за один цикл світлофора, пішоходам не потрібно чекати двічі, щоб перетнути перехрестя у двох напрямках; зменшується ризик ДТП між пішоходами та ТЗ, оскільки всі автомобілі зупиняються, коли пішоходи мають «зелене світло»; такий формат переходу особливо корисний у місцях з великою кількістю пішоходів, наприклад, біля торгових центрів, навчальних закладів або на центральних площах міст.

Географія впровадження ДПП дуже широка: Шібуя (Токіо, Японія) – один з найвідоміших діагональних переходів у світі, по якому одночасно можуть переходити дорогу понад 3000 пішоходів; Oxford Circus (Лондон, Велика Британія) також має цей тип пішохідного переходу; перехрестя Friedrichstrasse/Kochstrasse (Берлін, Німеччина); Бельгія, Франція, Нідерланди та інші країни [3]. До речі, за підрахунками експертів, завдяки їх використанню ризик ДТП на дорогах зменшується до 10%. В 2019 році, як зазначено в Інтернет джерелах [4], Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України зайнялось розробкою проекту зміни ДБН, яка передбачала дозволити проектувати діагональні пішохідні переходи. Тоді відмічалось, що в Європі більшість пішохідних переходів – наземні, а не підземні, як в Україні і попри це, ДТП там в рази менше. Все завдяки розумному проектуванню вулиць і доріг, наприклад, облаштуванню на перехрестях наземних пішохідних переходів із «косою зеброю» – не під прямим кутом до тротуару, як зазвичай, а трохи навскоси. Завдяки таким переходам очікувалось підвищення видимості людей на переході – ризик наїзду або іншої ДТП набагато менший, а також підвищення уваги і самого пішохода, оскільки це змушує його дивитися в бік руху. ДПП були запроваджені в ПДР України в 2021 році. [5]. Вони позначаються дорожнім знаком 5.39 та спеціальною розміткою. Мета такого ноу-хау – максимально розвантажити перехрестя, де збирається багато пішоходів. ПДР передбачають, що переходити перехрестя по діагоналі можна за наявності відповідного дорожнього знаку та розмітки. При цьому такі переходи організовують виключно на перехрестях, що регулюються. Пішоходи можуть перетинати проїжджу частину по діагоналі, коли для автомобілів горить червоний сигнал світлофора. Про ДПП заговорили ще в 2015 році у Львові. Тож м. Львів став першим містом України, де у листопаді 2022 року з'явився такий перехід на перехресті вулиць Бандери, Антоновича та Русових. Такий нестандартний вид переходу, як зазначалось, слід застосовувати на тих ділянках, де є інтенсивний рух пішоходів і де їм треба

перетинати дві та більше доріг, щоб дістатися з точки А в точку Б. Ініціатори були впевнені, що завдяки діагональному переходу перейти дорогу можна буде швидше. Пізніше, в 2023 році, унікальний перехід був помічений в м. Одеса на перетині вулиць Катериненська та Ланжеронівська. Під час зеленого сигналу світлофора пішоходи можуть рухатися одразу кількома напрямками. Таке рішення спрощує перехід дороги та робить його безпечнішим та швидшим. У м. Дніпро перший ДПП з'явився в 2024 році на перехресті вулиць Королеви Єлизавети та Харківської, біля ТРЦ «Мост-Сіті», Для території поблизу Мост-Сіті, де завжди інтенсивний рух і пішоходів, і ТЗ це досить необхідне нововведення.

За кордоном давно ведуться роботи по вивченню ефективності функціонування перехресть з ДПП. Зокрема, в [6] окрема пішохідна фаза з діагональним переходом є доцільною для підвищення безпеки пішоходів на перехрестях із високою інтенсивністю руху як пішоходів, так і ТЗ. Моделювання дорожнього руху показує, що така організація ефективна за наступних умов: на перехрестях із 2+2 смугами; при інтенсивностях пішоходів і ТЗ відповідно більше 900 піш./год та 1600 авт./год. Водночас ексклюзивна пішохідна фаза може бути впроваджена на перехрестях із низьким або середнім обсягом ТП незалежно від кількості пішоходів, оскільки це покращує загальну організацію руху та підвищує рівень безпеки.

В роботі [7] авторами доведено зворотнє, що впровадження окремих пішохідних фаз без діагонального переходу на односторонніх регульованих перехрестях значно підвищує безпеку пішоходів. Зазвичай ексклюзивна пішохідна фаза з діагональним переходом впроваджується для підвищення безпеки пішоходів на перехрестях із високою інтенсивністю пішохідного руху. Дослідження у м. Вільнюс продемонструвало, що рішення прибрати діагональні пішохідні переходи ефективно зменшує ризик ДТП до нуля, навіть на перехрестях із середньою чи низькою інтенсивністю пішохідного руху. Запропонований підхід є особливо актуальним для регульованих перехресть, де впровадження діагональних переходів неможливе. Однак в цілому, результати підтверджують, що окремі пішохідні фази є дієвим інструментом для зниження аварійності та забезпечення безпечного середовища для всіх учасників дорожнього руху.

Для зменшення протиріч у висновках [6] і [7] варто врахувати, що кожна робота має свої межі застосування, а проведення нами аналізу повинно бути продовжено із залученням реальних даних про ДТП у різних містах і країнах та детального моделювання руху на перехрестях із різними конфігураціями. Тільки комплексний підхід, що поєднує безпеку та ефективність руху, дозволить визначити оптимальні умови для впровадження ДПП чи їх виключення.

Дослідження [8] підтверджує, що застосування методів машинного навчання, зокрема методу опорних векторів (SVM), дозволяє суттєво підвищити точність аналізу й прогнозування поведінки пішоходів на перехрестях. Цей підхід є ефективним інструментом для розробки інтелектуальних транспортних систем, які здатні оптимізувати процес управління пішохідним рухом; підвищити безпеку дорожнього руху завдяки прогнозуванню порушень правил; забезпечити більш точне моделювання сценаріїв дорожнього руху. У майбутньому впровадження таких технологій у розумних містах може сприяти зменшенню кількості ДТП, оптимізації ТП і створенню більш безпечного середовища для пішоходів та інших

учасників руху. Слід зазначити, що дане дослідження може бути корисним для аналізу та оптимізації ДПП, оскільки модель SVM, яка демонструє високу точність у прогнозуванні швидкості та ймовірності переходу, може бути застосована для аналізу специфічних сценаріїв поведінки пішоходів на діагональних переходах. Це може допомогти визначити ймовірність порушень пішоходами на діагональних переходах або передбачити, як пішоходи взаємодіятимуть із ТП на таких перехрестях. До того ж результати моделювання можуть використовуватися для налаштування світлофорів на діагональних переходах з урахуванням швидкості, інтенсивності руху пішоходів і ТЗ. Це сприятиме зниженню затримок для всіх учасників дорожнього руху. Аналіз порушень на перехрестях дозволяє ідентифікувати небезпечні зони, де пішоходи найчастіше ігнорують правила (наприклад, перетинають на червоне світло). Це може бути корисним для створення превентивних заходів або встановлення додаткових засобів контролю (камер, попереджувальних сигналів). Дослідження підтверджує, що використання машинного навчання може інтегруватися в інтелектуальні транспортні системи для керування діагональними переходами. Наприклад, впровадження адаптивного управління світлофорами, розробка систем оповіщення для водіїв і пішоходів про потенційні конфлікти. Дані, отримані з реальних перехрестів у дослідженні, можна адаптувати для моделювання діагональних переходів, що дозволить визначити, за яких умов діагональні переходи є найбільш ефективними та збалансувати безпеку й пропускну спроможність на складних перехрестях. Тож, дослідження з використанням машинного навчання й технологій розпізнавання зображень може суттєво підвищити ефективність впровадження ДПП. Воно дозволяє прогнозувати й аналізувати поведінку пішоходів у різних умовах, оптимізувати організацію руху та підвищити загальний рівень безпеки. Практичне застосування подібних досліджень у м. Харків поки що обмежене, оскільки такі переходи не впроваджені на ВДМ.

Дослідження в [9] аналізує ефективність впровадження ДПП («scramble crossing») на перехресті з існуючою довжиною циклу сигналу 79 с. Результати показують, що за наявних умов таке впровадження є доцільним. Автори рекомендують провести додаткові дослідження параметрів та обмежень для отримання більш точних результатів. Зокрема, слід детальніше проаналізувати швидкість обслуговування світлофорів, яка залежить від довжини перехрестя та поступового збільшення швидкості руху транспорту. Авторами запропоновані точні формули для розрахунку оптимальної тривалості сигналу для пішоходів, які можуть бути використані для уточнення тривалості сигналу на діагональному переході. Також варто врахувати, що деякі сигнали на перехрестях координуються з іншими поблизу розташованими перехрестями, і впровадження нового циклу може порушити потік трафіку в таких зонах. Подальші дослідження можуть включати впровадження діагонального переходу на певних перехрестях з оптимізацією системи в цілому та врахуванням взаємозв'язків між циклами світлофорів. Крім того, адаптація тривалості сигналів до різних періодів доби, коли змінюються ТП, дозволить більш ефективно використовувати перехрестя.

В [10] зазначається, що ДПП повинні використовуватися тільки у випадках, коли є реальна потреба для пішоходів перетинати перехрестя по діагоналі, і це повинно призводити до зменшення затримок як для пішоходів, так і для транспорту.

Враховуючи, що діагональні переходи можуть збільшити час пішохідної фази, це вимагає ретельного планування та встановлення відповідних знаків і інфраструктури для забезпечення безпеки та зручності всіх учасників дорожнього руху.

Авторами роботи [11] проаналізовано, як встановлення ДПП впливає на ефективність руху транспорту, використовуючи метод моделювання в програмному середовищі PTV Vision VISSIM. Результати показали, що при певному співвідношенні ТП (наприклад, коли співвідношення головної вулиці до другорядної 1:6) впровадження діагональних переходів може знижувати загальні затримки на перехрестях типів 2-на-1 і 3-на-1. Такі переходи підвищують ефективність роботи перехрестя, зокрема, коли на головній вулиці більший ТП, а на другорядній – менший, і коли довжина переходу для головної вулиці більша. Це дослідження може бути корисним для визначення умов, за яких слід впроваджувати ДПП для покращення ефективності дорожнього руху.

Слід також відмітити, що ще у 2002 році в м. Окленд (Каліфорнія) було впроваджено на перехресті поряд з традиційним способом перетинання вулиці, перехід по діагоналі. Основною метою роботи [12] була оцінка підвищення безпеки пішоходів на цьому перехресті в результаті впровадження «scramble crossing». Було проведено аналіз конфліктів між пішоходами та ТЗ та порушень пішоходів до і після зміни сигналізації, а також опитано пішоходів для вивчення їх ставлення та розуміння змін. Модифікація сигналізації в результаті призвела до статистично значного зменшення конфліктів між пішоходами та ТЗ, а також до статистично значного збільшення порушень пішоходів. Загалом, пішоходи зрозуміли зміну в роботі перехрестя та прийняли зміни у вигляді «scramble crossing»-сигналізації. Ці результати свідчать про те, що система «scramble crossing» в цілому була ефективною для покращення безпеки на перехресті. Збільшення кількості порушень, незважаючи на зменшення конфліктів, частково пояснюється тим, що певна частина пішоходів продовжувала незаконно переходити дорогу на «безпечній» пішохідній смузі (тобто на смузі, що паралельна руху транспорту, де немає можливості для конфліктів). Важливо, щоб сигнал «scramble crossing» контролювався протягом часу для того, щоб оцінити, наскільки зменшення конфліктів між ТЗ та пішоходами призводить до зменшення кількості травм та смертей серед пішоходів. Впровадження сигналу «scramble crossing» в Окленді виявилось ефективним у зниженні конфліктів між пішоходами та ТЗ, що сприяло покращенню безпеки на перехресті. Однак збільшення кількості порушень пішоходами, попри зменшення конфліктів, вказує на потребу в додатковій освіті та моніторингу цього виду сигналізації для оцінки її довгострокового впливу на зниження травм і смертельних випадків серед пішоходів.

Дослідження [13] вказує на необхідність врахування специфічних потреб різних груп пішоходів при проектуванні пішохідних переходів, зокрема для осіб з обмеженими можливостями. Виявлені прогалини в місцевих рекомендаціях та показниках Healthy Streets вказують на потребу в удосконаленні інструментів для визначення складних для пішоходів переходів. Це дослідження дозволяє створити більш ефективні механізми для адаптації існуючої інфраструктури, що покращить безпеку та зручність пішоходів, а також зробить процес адаптації інфраструктури більш проактивним і орієнтованим на потреби громадян. Це

дослідження може бути корисним для оцінки безпеки при впровадженні ДПП. Воно надає реалістичну оцінку місцевих рекомендацій з дизайну та показників Healthy Streets, а також вивчає важливі фактори, які можуть впливати на зручність і безпеку пішоходів при переходах. Зокрема, дослідження звертається до таких аспектів, як піковий трафік, складність і радіуси повороту для транспорту – ці метрики можуть бути використані для оцінки того, наскільки ДПП може стати бар'єром для пішоходів, зокрема для осіб з інвалідністю. Також, результати вказують на прогалини в місцевих дизайнерських рекомендаціях, що означає, що для успішного впровадження діагональних переходів важливо враховувати такі показники в інфраструктурі та адаптувати їх для полегшення пішохідного руху. Це дослідження надає корисні інсайти для покращення місцевих стандартів і створення більш безпечних та зручних умов для пішоходів, зокрема через ретрофітинг існуючих переходів або їх перепроєктування.

Аналіз наявних джерел ще раз підтвердив важливість та необхідність проведення досліджень щодо впровадження ДПП та оцінки їх ефективності в містах України. Вивчення міжнародного досвіду, а також існуючих практик національного рівня, показує, що діагональні переходи є потужним інструментом для покращення безпеки пішоходів, скорочення часу на перехід та зменшення затримок для всіх учасників дорожнього руху. Проте для досягнення максимального ефекту важливо не лише застосовувати ці рішення в певних умовах, а й ретельно дослідити, як вони впливають на транспортну інфраструктуру та пішохідний потік, особливо в умовах українських міст. Наявність таких досліджень дозволить забезпечити науково обгрунтовані рішення щодо проектування і реалізації діагональних переходів, а також адаптацію міжнародного досвіду до специфіки українських міст. Це, в свою чергу, допоможе оптимізувати процеси мобільності, покращити безпеку пішоходів і транспорту, а також забезпечити більш ефективне використання інфраструктури.

Тим більше, що у вітчизняних джерелах зовсім відсутні будь-які дослідження в цьому напрямку. Так, в [14] на основі аналізу статистики ДТП у країнах Європи, СНД та Україні, стверджувати, що забезпечення безпеки пішоходів є одним із ключових завдань дорожнього руху, а підняті пішохідні переходи – це ефективний інструмент для зменшення аварійності та підвищення рівня безпеки. Їх використання сприяє збереженню життя та здоров'я учасників дорожнього руху завдяки зниженню швидкості ТЗ та покращенню видимості пішоходів на проїзній частині. Такий підхід довів свою ефективність та потребує подальшого впровадження задля створення безпечнішого середовища на дорогах. На відміну від піднятих пішохідних переходів, питання ефективності ДПП в Україні практично не досліджене. Таким чином ми підійшли до формулювання мети дослідження.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є попередня оцінка ефективності функціонування перехрестя за рахунок впровадження на ньому ДПП, оскільки досвід інших країн демонструє їхню потенційну ефективність як у зниженні аварійності, так і в порівнянні з іншими схемами руху. Для реалізації мети необхідно провести дослідження дорожніх умов та параметрів транспортних і пішохідних потоків, на основі яких стане можливим розробити імітаційні транспортні моделі обраного перехрестя у програмному середовищі PTV Vision VISSIM [15].

Виклад основного матеріалу. Кафедрою організації і безпеки дорожнього руху ХНАДУ ведуться дослідження щодо можливості застосування ДПП в м. Харків. Відсутність реальних проєктів та пропозицій щодо впровадження ДПП в місті значно обмежує можливості науковців займатися дослідженням і вирішенням цього питання.

На основі аналізу вже існуючих діагональних перетинів, як і в Україні, так і за кордоном були сформовано критерії для введення ДПП:

1. Висока пішохідна інтенсивність (наявність пішохідних шляхів, що потребують безпечного та швидкого перетину дороги, особливо в місцях з високою кількістю пішохідних маршрутів або поблизу значної кількості центрів тяжіння).
2. Наявна складна структура перехрестя.
3. Спостереження за конфліктними ситуаціями між пішоходами та ТЗ.
4. Обмеження або неможливість стандартних переходів.
5. Діагональний перехід забезпечить підвищення видимості пішоходів.
6. Наявність світлофорного регулювання.
7. Наявність безпечних зон для пішоходів.
8. Низька швидкість руху транспорту (перехрестя з діагональними переходами повинні мати обмеження швидкості або використання інших методів зниження швидкості транспорту, щоб зменшити ризик ДТП з участю пішоходів).
9. Доступність для людей з обмеженими можливостями.
10. Кількість смуг руху (не більше трьох смуг на кожному підході до перехрестя).

Можливості застосування таких переходів в м. Харків є, оскільки в місті чимало великих перехресть із інтенсивним рухом пішоходів, особливо поблизу станцій метро «Історичний музей», «Університет», де діагональний перехід може оптимізувати рух пішоходів, скорочуючи час очікування на світлофорі. При правильному налаштуванні світлофорів усі ТП зупиняються одночасно, даючи пішоходам змогу перетинати вулиці в будь-якому напрямку. Слід відзначити і естетичне оновлення міста, коли діагональні переходи додають сучасності міській інфраструктурі, що привертає увагу туристів, якщо такі переходи оформити креативно. Але місто може стикнутися з рядом проблем: через велику кількість перехресть із високою щільністю руху ТЗ, діагональний перехід може спричинити затримки для транспорту, якщо не буде ретельно спланованим; додаткові витрати, пов'язані з налаштуванням світлофорів; новий формат переходу може бути незвичним для мешканців міста, тому потрібна інформаційна кампанія, щоб навчити користуватися переходом.

В даній статті продемонстровано обґрунтування ефективності застосування таких переходів для перехрестя вулиць Європейська – Патріарха Мстислава – Остапа Вишні в м. Полтава (див. рис. 1). Вибір даного перехрестя обумовлений появою в червні 2023 року петиції [16], суть якої полягає у необхідності забезпечення безпеки дорожнього руху на даному перехресті, де регулярно трапляються ДТП, зокрема за участі дітей. З огляду на близьке розташування школи № 27 та інтенсивний рух транспорту, мешканці міста звернулись з проханням встановити додаткові сегменти світлофора, щоб забезпечити безпечний перехід доріг для пішоходів, особливо дітей, а також терміново демонтувати дорожній

знак «додаткова зелена стрілка» на світлофорі через обмежену видимість для водіїв та пішоходів під час руху. Оскільки дане перехрестя є аварійно небезпечним та становить загрозу життю і здоров'ю громадяни, наголошували ще тоді на невідкладності вжиття відповідних заходів для забезпечення безпеки всіх учасників дорожнього руху. Але досі проблема на перехресті не вирішена. А запит на безпечний перехід проїзної частини пішоходами вимагає впровадження ефективних рішень. Тому демонстрація такого нововведення в м. Полтава, як впровадження діагонального переходу, може стати пілотним проєктом, який можна використовувати для аналізу й подальшого впровадження в інших містах, зокрема в м. Харків.

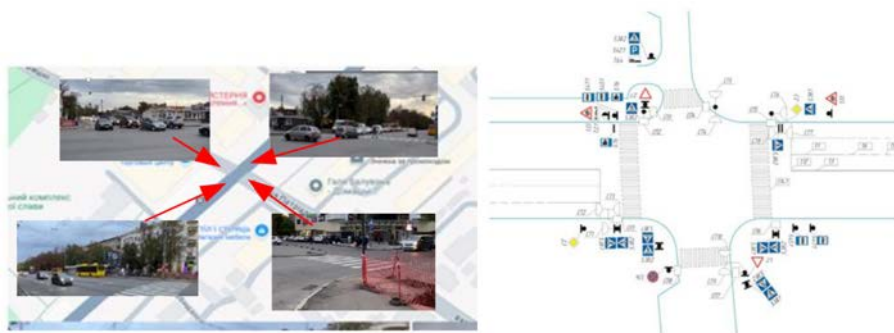


Рис. 1. Перехрестя вулиць Європейська – Патріарха Мстислава – Остапа Вишні в м. Полтава

Перевагою впровадження пілотного проєкту в м. Полтава може бути й те, що в місті менший обсяг автомобільного руху порівняно з великими містами, зокрема м. Харків. Це зменшує ризики транспортних затримок при тестуванні діагонального переходу. Обраний перехід може стати зразком для спостереження, як це нововведення впливатиме на трафік, безпеку та звички пішоходів. Оскільки є петиція, місцеві жителі вже готові до діалогу та співпраці, що збільшує ймовірність успішного запуску. Успішна реалізація проєкту в Полтаві може переконати владу інших міст у доцільності впровадження таких переходів.

На даний час на перехресті вулиць Європейська – Патріарха Мстислава – Остапа Вишні пофазний роз'їзд в дві фази. Нами запропоновано два розглянути два варіанти роз'їзду: введення третьої пішохідної фази з діагональним пішохідним переходом (див. рис. 2 (а)) та з рухом пішоходів по периметру (див. рис. 2 (б)).

Слід зазначити, що при розробці циклу світлофорного регулювання були враховані аспекти оптимізації значних поворотних потоків, зокрема аналізувались варіанти раннього та пізнього старту сигналів. Однак детальне дослідження їх впливу на транспортні та пішохідні потоки виходить за межі завдань даного дослідження. Тож, в результаті моделювання дорожнього руху (див. рис. 3) нами отримані значення показників ефективності функціонування перехрестя (затримки ТЗ і пішоходів, викиди шкідливих речовин та палива, довжина затору), які свідчать про переваги впровадження діагонального пішохідного переходу (див. рис. 4).

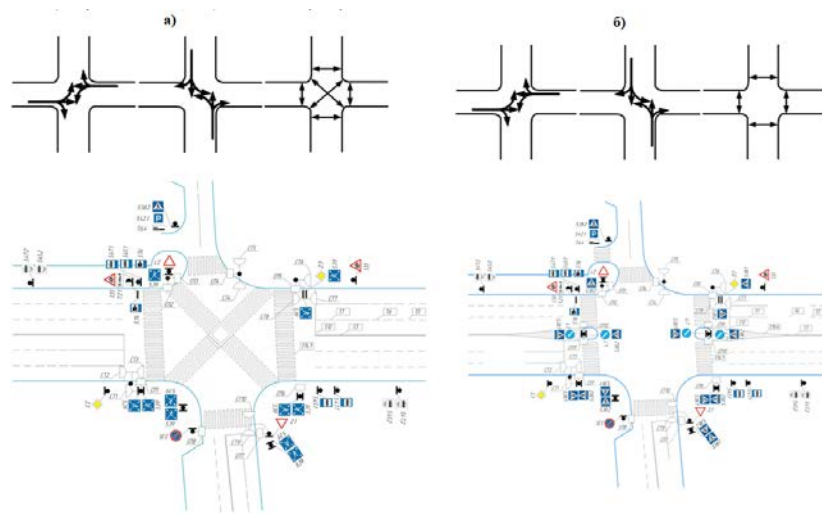


Рис. 2. Запропоновані схеми пофазного роз'їзду на перехресті



Рис. 3. Імітація дорожнього руху при різних варіантах схем руху пішоходів в програмному середовищі PTV Vision VISSIM

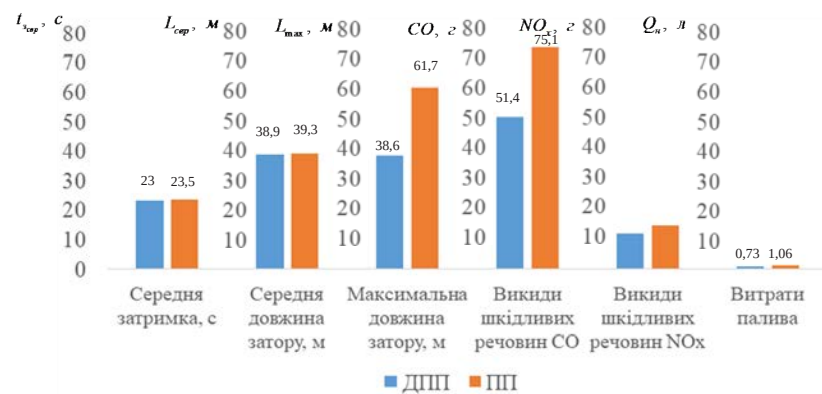


Рис. 4. Показники ефективності функціонування перехрестя, отримані в результаті моделювання

Висновки. В результаті проведеного моделювання та комплексного аналізу функціонування досліджуваного перехрестя отримано важливі кількісні критерії, зокрема: затримки руху ТЗ і пішоходів, обсяг витрат палива, а також довжину транспортних заторів. Отримані результати демонструють, що впровадження ДПП є більш ефективним рішенням порівняно зі стандартною схемою організації руху. Аналіз за всіма зазначеними параметрами вказує на середнє зниження відповідних показників приблизно на 10%, що підтверджує доцільність впровадження ДПП з точки зору покращення пропускнуої здатності перехрестя, зменшення енерговитрат ТЗ та мінімізації затримок руху. Окрім цього, прогнозоване скорочення довжини транспортних заторів позитивно вплине на безпеку руху та екологічний стан прилеглої території. Враховуючи масштабну транспортну мережу та високу щільність населення м. Харків, впровадження ДПП може суттєво підвищити безпеку пішоходів, зменшити конфлікти між транспортними та пішохідними потоками, а також покращити загальну організацію дорожнього руху. Результати моделювання підтверджують доцільність цього рішення для міста з такою інтенсивною транспортною інфраструктурою, як м. Харків.

ЛІТЕРАТУРА

1. South Australian walking strategy 2022–2032. More people walking more often; all ages, all abilities. URL: https://www.wellbeingsa.sa.gov.au/assets/downloads/walking-campaign/21025.14-Walking-Strategy-Documents-2022-2032_FINAL.pdf
2. Pedestrian planning and design guide. *NZ Transport Agency*, October 2009 ISBN 978-0-478-35228-3 (online). URL: <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/pedestrian-planning-guide/docs/pedestrian-planning-guide-superseded.pdf> (дата звернення 21.01.2025)
3. Francis, E. (2023). Impacts of Diagonal Crosswalk Misuse. Civil Engineering Undergraduate Honors Theses Retrieved from <https://scholarworks.uark.edu/cveguht/81>
4. В Україні з'являться діагональні пішохідні переходи. УНІАН: веб-сайт. URL: <https://www.unian.ua/economics/transport/10514073-v-ukrajini-z-yavlyatsya-diagonalni-pishohidni-perehodi.html> (дата звернення 24.01.2025)
5. В Одесі з'явився перший діагональний пішохідний перехід: що це та як працює? Hotline Finance: веб-сайт. URL: <https://hotline.finance.ua/articles/v-odesi-z-yavivsya-pershiy-diagonalniy-pishohidniy-perehid-shcho-ce-ta-yak-pracyuye> (дата звернення 25.01.2025)
6. Grigonis, V., Kondratovič, V., Palevičius, V., Juozėvičiūtė, D., Karpavičius, T., & Smirnovs, J. (2023). Performance Analysis of One-Level Signalized Urban Intersections with Exclusive Pedestrian Phases and Diagonal Crossings. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 18(4), 65-89. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2023-18.619>
7. Juozėvičiūtė, D., & Grigonis, V. (2022). Evaluation of Exclusive Pedestrian Phase Safety Performance at One-Level Signalized Intersections in Vilnius. *Sustainability*, 14(13), 7894. <https://doi.org/10.3390/su14137894>
8. Cai, J., Wang, M., & Wu, Y. (2024). Research on Pedestrian Crossing Decision Models and Predictions Based on Machine Learning. *Sensors*, 24(1), 258. <https://doi.org/10.3390/s24010258>

9. Michelle Leung, Sam Maggs, Svyatoslav Glazyrin (2012). Intersection Optimization Analysis: Cambie & W. Broadway, Vancouver. Analytics Now 2012 Edition. ANALYTICS NOW: веб-сайт. URL: <https://journals.lib.sfu.ca/index.php/analytics-now/article/view/31/15>
10. Guidelines for Pedestrian Crossing Facilities at Traffic Control Signals (2023). Mainroad Western Australia: веб-сайт. URL: <https://www.mainroads.wa.gov.au/globalassets/technical-commercial/technical-library/road-and-traffic-engineering/traffic-management/traffic-signals/guidelines-for-pedestrian-crossing-facilities-at-traffic-signals-v2.pdf>
11. Doyoung Jung, Dongmin LEE, Jinwoo Jun, Daecheol HAN (2017). Analysis of the Effects of Scrambled Crosswalk Installation Depending on the Types of Intersections Using VISSIM. International Journal of Highway Engineering Vol.19 No.3 Pp.71-81. DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2017.19.3.071>
12. Bechtel, A. K, MacLeod, K. E, & Ragland, D. R. (2003). Oakland Chinatown Pedestrian Scramble: An Evaluation. UC Berkeley: Safe Transportation Research & Education Center. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/3fh5q4dk>
13. T. Bozovic, E. Hinckson, M. Smith (2024). Pedestrian crossings: Design recommendations do not reflect users' experiences in a car-dominated environment in Auckland, New Zealand. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* Volume 187, September 2024, 104169 <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104169>
14. Нагребельна Л.П., Беленчук О.В., Кононенко А.О. (2018). Підняті пішохідні переходи, як засіб забезпечення безпеки пішоходів. *Автомобільні дороги. Безпека руху*. Автошляховик України, № 2. С. 47-50. URL: <https://surl.li/jwpeus>
15. PTV VISSIM: first steps tutorial. Germany. Ptv planning transport. Verkehr ag. 2021. P. 37
16. Електронні петиції. Полтавська міська рада: веб-сайт. URL: <https://petition.rada-poltava.gov.ua/petition/view?id=196> (дата звернення 02.12.2024).

REFERENCES

1. South Australian walking strategy 2022–2032. More people walking more often; all ages, all abilities. URL: https://www.wellbeingsa.sa.gov.au/assets/downloads/walking-campaign/21025.14-Walking-Strategy-Document-2022-2032_FINAL.pdf
2. Pedestrian planning and design guide. *NZ Transport Agency*, October 2009 ISBN 978-0-478-35228-3 (online). URL: <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/pedestrian-planning-guide/docs/pedestrian-planning-guide-superseded.pdf> (date of application 21.01.2025)
3. Francis, E. (2023). Impacts of Diagonal Crosswalk Misuse. Civil Engineering Undergraduate Honors Theses Retrieved from <https://scholarworks.uark.edu/cveguht/81>
4. Diagonal pedestrian crossings will appear in Ukraine. UNIAN: website [V Ukraini zivliatsia diahonalni pishokhidni perekhody. UNIAN: veb-sait.] URL: <https://www.unian.ua/economics/>

- transport/10514073-v-ukrajini-z-yavlyatsya-diagonalni-pishohidni-perehodi.html (date of application 24/01/2025) [in Ukrainian]
5. The first diagonal pedestrian crossing appeared in Odesa: what is it and how does it work? Hotline Finance: website. [V Odesi z'iavyvsia pershyi diahonalnyi pishokhidnyi perekhid: shcho tse ta yak pratsiuie? Hotline Finance: veb-sait.] URL: <https://hotline.finance.ua/articles/v-odesi-z-yavivysya-pershiy-diagonalniy-pishohidniy-perehid-shcho-ce-ta-yak-pracyuye> (date of application 25.01.2025) [in Ukrainian]
 6. Grigonis, V., Kondratovič, V., Palevičius, V., Juozevičiūtė, D., Karpavičius, T., & Smirnovs, J. (2023). Performance Analysis of One-Level Signalized Urban Intersections with Exclusive Pedestrian Phases and Diagonal Crossings. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 18(4), 65-89. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2023-18.619>
 7. Juozevičiūtė, D., & Grigonis, V. (2022). Evaluation of Exclusive Pedestrian Phase Safety Performance at One-Level Signalized Intersections in Vilnius. *Sustainability*, 14(13), 7894. <https://doi.org/10.3390/su14137894>
 8. Cai, J., Wang, M., & Wu, Y. (2024). Research on Pedestrian Crossing Decision Models and Predictions Based on Machine Learning. *Sensors*, 24(1), 258. <https://doi.org/10.3390/s24010258>
 9. Michelle Leung, Sam Maggs, Svyatoslav Glazyrin (2012). Intersection Optimization Analysis: Cambie & W. Broadway, Vancouver. Analytics Now 2012 Edition. ANALYTICS NOW: website URL: <https://journals.lib.sfu.ca/index.php/analytics-now/article/view/31/15>
 10. Guidelines for Pedestrian Crossing Facilities at Traffic Control Signals (2023). Mainroad Western Australia: website URL: <https://www.mainroads.wa.gov.au/globalassets/technical-commercial/technical-library/road-and-traffic-engineering/traffic-management/traffic-signals/guidelines-for-pedestrian-crossing-facilities-at-traffic-signals-v2.pdf>
 11. Doyoung Jung, Dongmin LEE, Jinwoo Jun, Daecheol HAN (2017). Analysis of the Effects of Scrambled Crosswalk Installation Depending on the Types of Intersections Using VISSIM. *International Journal of Highway Engineering* Vol.19 No.3 Pp.71-81. DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2017.19.3.071>
 12. Bechtel, A. K, MacLeod, K. E, & Ragland, D. R. (2003). Oakland Chinatown Pedestrian Scramble: An Evaluation. UC Berkeley: Safe Transportation Research & Education Center. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/3fh5q4dk>
 13. T. Bozovic, E. Hinckson, M. Smith (2024). Pedestrian crossings: Design recommendations do not reflect users' experiences in a car-dominated environment in Auckland, New Zealand. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* Volume 187, September 2024, 104169 <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104169>
 14. Nahrebelna L.P., Belenchuk O.V., Kononenko A.O. (2018). Raised pedestrian crossings as a means of ensuring pedestrian safety [Pidniati pishokhidni perekhody, yak zasib zabezpechennia bezpeky pishokhodiv] *Automobile roads. Traffic safety. Avtoshliakhovyk Ukrainy*, No. 2. C. 47-50. [in Ukrainian]
 15. PTV VISSIM: first steps tutorial. Germany. Ptv planning transport. Verkehr ag. 2021. P. 37
 16. Electronic petitions. Poltava City Council: website. [Elektronni petytsii. Poltavska miska rada: veb-sait.] URL: <https://petition.rada-poltava.gov.ua/petition/view?id=196> (date of application 02.12.2024). [in Ukrainian]