

Холодова О.О., Бугайова М.О., Холодов О.В.  
*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Харків, Україна*

## **КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДИК ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РЕГУЛЬОВАНИХ І НЕРЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ З УРАХУВАННЯМ СКЛАДНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ВЗАЄМОДІЙ**

Проведено критичний аналіз класичних і сучасних методик оцінки безпеки регульованих та нерегульованих перехресть з урахуванням складності транспортних взаємодій. Показано, що підходи, засновані виключно на статистиці ДТП або підрахунку конфліктних точок, мають обмежені можливості щодо виявлення потенційно небезпечних ситуацій і недостатньо враховують взаємодії за участю вразливих учасників дорожнього руху — пішоходів, велосипедистів і користувачів громадського транспорту.

На основі узагальнення досліджень обґрунтовано доцільність переходу від жорстко фіксованих емпіричних коефіцієнтів до універсального принципу формування вагових показників конфліктних точок. Запропоновано узагальнений підхід до визначення вагових коефіцієнтів конфліктних взаємодій, що поєднує характер транспортної взаємодії і рівень уразливості найбільш незахищеного учасника конфлікту.

Розроблено універсальну формулу інтегрального показника складності перехрестя, яка дозволяє кількісно враховувати різні типи конфліктних взаємодій, у тому числі за участю пішоходів, велосипедистів і рейкового міського транспорту, без введення значної кількості окремих емпіричних коефіцієнтів. Запропонований показник інтерпретується як індикатор потенційної небезпеки перехрестя, що узгоджується з концепцією *subrogate safety analysis*.

На прикладі типового міського нерегульованого перехрестя показано, що врахування конфліктів за участю вразливих учасників дорожнього руху може істотно змінювати кінцеву оцінку складності та підвищувати категорію перехрестя за рівнем потенційної небезпеки. Це підтверджує доцільність використання запропонованого підходу для порівняльної оцінки альтернативних схем організації дорожнього руху та пріоритизації заходів з підвищення безпеки.

**Ключові слова:** безпека дорожнього руху, перехрестя, конфліктні точки, транспортні взаємодії, вразливі учасники, інтегральний показник складності, вагові коефіцієнти

### **ВСТУП**

Статистичні дані щодо кількості зареєстрованих дорожньо-транспортних пригод (ДТП) за 2016–2025 роки, отримані з офіційних відкритих матеріалів Патрульної поліції України [1], відображають динаміку аварійності по регіонах України та є актуальними на момент проведення дослідження, оскільки базуються на даних державного органу, що здійснює безпосередній облік ДТП. Аналіз статистики ДТП за причинами свідчить, що значна частка аварій з загиблими та травмованими пов'язана з порушеннями правил проїзду перехресть. Зокрема, за період 2025 року зафіксовано 1218 ДТП з загиблими та/або травмованими внаслідок порушення правил проїзду нерегульованих перехресть, що супроводжувалося загибеллю 70 осіб та травмуванням 1704 осіб.

Отримані дані підтверджують, що нерегульовані перехрестя належать до найбільш аварійно небезпечних елементів вулично-дорожньої мережі (ВДМ). На відміну від регульованих перехресть, на яких конфлікти частково усуваються за рахунок фаз світлофорного регулювання, на нерегульованих перехрестях значна частина потенційно небезпечних ситуацій залежить від дотримання водіями правил пріоритету та суб'єктивної оцінки дорожньої обстановки. Це зумовлює потребу у науково обґрунтованій оцінці рівня безпеки їх функціонування з використанням спеціалізованих методик аналізу.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Використання виключно статистики ДТП не дає змоги повною мірою оцінити рівень безпеки перехресть, оскільки така інформація відображає лише реалізовані аварійні події та не враховує латентні конфлікти між учасниками дорожнього руху. У зв'язку з цим серед відомих підходів до оцінки безпеки дорожнього руху поширеним є метод аналізу конфліктних точок, який дозволяє кількісно охарактеризувати ступінь небезпеки як для регульованих, так і для нерегульованих перехресть шляхом виявлення та аналізу потенційно небезпечних взаємодій між транспортними та пішохідними потоками.

Водночас у ряді досліджень оцінювання стану ВДМ базується переважно на показниках швидкості руху та рівня обслуговування (LOS), визначених за методикою HCM, без прямого врахування показників безпеки руху [2]. Такий підхід дозволяє оцінити ефективність функціонування

перехресть з точки зору пропускної здатності та комфорту руху, однак є обмеженим для аналізу рівня безпеки, особливо в умовах складної конфліктної структури перехресть.

З огляду на це доцільним є подальший аналіз особливостей формування конфліктних ситуацій на перехрестях різних типів, що потребує їх систематизації та класифікації з урахуванням способу регулювання та планувально-геометричних параметрів, які безпосередньо впливають на складність організації руху.

Окрему групу становлять сучасні системні підходи до оцінки безпеки перехресть, що базуються на аналізі складності транспортних взаємодій у межах імітаційного моделювання. Так, у роботі [3] запропоновано багатовимірну модель оцінки складності перехресть за показниками щільності взаємодій, невпорядкованості руху та інтегрального ризику. Водночас орієнтація методики на тестування автономних транспортних систем і відсутність прямого зв'язку з показниками аварійності обмежують можливості її практичного використання для оцінки безпеки реальних міських перехресть.

У низці досліджень [4] безпека нерегульованих перехресть оцінюється на основі проксимальних індикаторів (TTC, PET, DR), які дозволяють аналізувати потенційно небезпечні ситуації без залучення статистики ДТП. Зокрема, метод конфліктних ситуацій у поєднанні з surrogate safety measures застосовується для оцінки як рівня безпеки, так і пропускної здатності перехресть. В той же час відсутність прямого зв'язку між значеннями проксимальних показників і реальною аварійністю, а також висока чутливість результатів до якості вихідних даних обмежують можливості їх практичного використання.

У сучасних дослідженнях безпека дорожнього руху все частіше розглядається через призму оцінки складності транспортного середовища. Так, у роботі [5] запропоновано системну методику кількісної оцінки складності дорожнього середовища на основі теорії потенціальних полів та методу аналізу ієрархій. Разом з цим орієнтація методики на автономні транспортні засоби (ТЗ), високий рівень абстракції та відсутність прямого зв'язку з показниками аварійності обмежують можливості її використання для оцінки безпеки регульованих і нерегульованих перехресть.

У деяких країнах, що розвиваються, зокрема в Непалі, підвищена увага приділяється комплексному підходу до дорожньої безпеки, включаючи правові, інфраструктурні та поведінкові аспекти, що підкреслює важливість інтеграції різних факторів при оцінці безпеки перехресть [6].

У низці сучасних досліджень безпека нерегульованих перехресть аналізується через вплив складності транспортного середовища на поведінку водіїв. Зокрема, результати натуралістичного польового експерименту в [7] свідчать, що такі параметри перехрестя, як напрям в'їзду, характер маневру та динамічна насиченість транспортного середовища, мають статистично значущий вплив на швидкісні характеристики руху та момент прийняття рішення водієм. Водночас обмежений обсяг вибірки та відсутність прямого зв'язку з показниками аварійності зумовлюють необхідність поєднання таких підходів із методами аналізу конфліктних ситуацій.

Узагальнюючий огляд сучасних досліджень з аналізу поведінки та безпеки на перехрестях подано у роботі [8], де перехрестя розглядаються як складні динамічні системи взаємодії ТЗ, водіїв і пішоходів. Запропонована авторами класифікація методів аналізу безпеки та поведінки, а також узагальнення застосовуваних показників ефективності створюють теоретичну основу для подальшого розвитку автоматизованих підходів до оцінки безпеки регульованих і нерегульованих перехресть.

Окрему групу сучасних підходів становлять методи аналізу траєкторій ТЗ із використанням алгоритмів машинного навчання. Так, у роботі [9] запропоновано метод автоматичної ідентифікації типу регулювання перехресть на основі GPS-траєкторій, який ґрунтується на аналізі колективної поведінки транспортних потоків (ТП), епізодів зупинок і уповільнень. Отримані з траєкторій швидкісні та зупиночні характеристики використовуються для класифікації під'їздів до перехресть за типом регулювання, при цьому досягається висока точність (95–97 %) [10]. Водночас метою дослідження є визначення типу організації руху, а не оцінка рівня безпеки, що зумовлює відсутність аналізу конфліктних ситуацій, показників аварійності або surrogate safety measures. У зв'язку з цим можливості безпосереднього застосування такого підходу для оцінки безпеки регульованих і нерегульованих перехресть є обмеженими.

Останнім часом у дослідженнях також застосовуються інформаційно-теоретичні підходи до оцінки складності транспортних сценаріїв. Так, у роботі [11] запропоновано ентропійну модель багатовимірної оцінки складності дорожнього середовища з урахуванням учасників руху, статичних і динамічних елементів. Попри високу формалізацію та можливість застосування до реальних даних, запропонований підхід орієнтований переважно на задачі навчання та тестування автономних ТЗ і не

забезпечує прямої інженерної інтерпретації результатів з точки зору рівня небезпеки перехресть або кількості конфліктних ситуацій.

Окремий напрям досліджень присвячено оцінюванню впливу активних дорожніх знаків, зокрема світлодіодних (LED) STOP-знаків, на безпеку дорожнього руху та поведінку водіїв. У роботі [12] на основі поперечних спостережень за реальними умовами руху проаналізовано ефективність впровадження активної світлової індикації на нерегульованих перехрестях із підвищеним рівнем аварійності. Отримані результати свідчать про статистично значуще зростання рівня дотримання водіями вимог знака STOP, що пояснюється підвищенням помітності знака, зростанням уважності водіїв та покращенням сприйняття дорожньої ситуації, особливо в умовах складного середовища руху. Водночас зазначений підхід орієнтований переважно на поведінкові та експлуатаційні показники й не передбачає формалізованого аналізу конфліктних ситуацій або surrogate safety measures, що обмежує можливості комплексної оцінки рівня небезпеки перехрестя.

Окремий напрям сучасних досліджень безпеки нерегульованих перехресть пов'язаний із впровадженням інтелектуальних транспортних систем попередження про конфлікти. Так, у роботі [13] узагальнено результати оцінювання ефективності системи попередження про конфлікти на перехрестях (Intersection Conflict Warning System, ICWS), яка базується на використанні активних попереджувальних знаків та сенсорів виявлення ТЗ. Аналіз літературних джерел свідчить, що застосування ICWS сприяє покращенню поведінки водіїв, зокрема зменшенню швидкості під'їзду до перехрестя, скороченню часу реакції, збільшенню прийнятних інтервалів у потоці та зниженню кількості конфліктних ситуацій. Водночас оцінювання ефективності системи здійснюється переважно за поведінковими та операційними показниками, без прямого кількісного аналізу рівня аварійності або інтегральних показників безпеки, що обмежує можливості використання таких підходів для комплексної оцінки безпеки нерегульованих перехресть з урахуванням складності транспортних взаємодій.

Проведений аналіз наукових джерел свідчить, що існуючі підходи до оцінки безпеки перехресть істотно різняться за вихідними даними, рівнем деталізації та сферою застосування. Методи, засновані на статистиці ДТП, не дозволяють виявляти потенційно небезпечні ситуації, тоді як surrogate safety measures та поведінкові показники чутливі до умов спостереження і не завжди корелюють з реальною аварійністю. Системні та імітаційні підходи забезпечують комплексний опис складності транспортного середовища, однак характеризуються високим рівнем абстракції та обмеженою інженерною інтерпретацією. Попри орієнтацію на автономні ТЗ, такі роботи формують методологічну основу для оцінки складності середовища. Все це зумовлює необхідність подальшого розвитку методик оцінки безпеки перехресть, орієнтованих на поєднання локальних конфліктних показників із системними характеристиками складності руху.

У практиці транспортного планування широко застосовуються показники частоти ДТП та коефіцієнта аварійності (crash rate), які використовуються для ранжування перехресть за рівнем небезпеки з урахуванням транспортної експозиції. Такий підхід рекомендований у керівних документах Federal Highway Administration (FHWA, США), зокрема в межах програм підвищення безпеки місцевих і сільських доріг, та дозволяє визначати пріоритетність впровадження інженерних заходів безпеки [14]. В той же час навіть за однакових значень коефіцієнта аварійності перехрестя можуть суттєво відрізнятися за конфліктною структурою, кількістю маневрів і когнітивним навантаженням на водія, що не відображається в агрегованих статистичних показниках. Згідно з рекомендаціями FHWA та AASHTO, такі геометричні параметри, як обмежена видимість на підходах і перекошена геометрія перехрестя, істотно підвищують ризик виникнення аварійних ситуацій за рахунок ускладнення візуального сприйняття та збільшення часу перебування ТЗ у зоні конфлікту. Разом з тим у більшості існуючих методик зазначені чинники розглядаються ізольовано та не інтегруються в узагальнений кількісний показник складності транспортних взаємодій на перехрестях.

У дослідженні [15] у межах інтелектуальних транспортних систем керування перехрестями розглядається як складний процес, зумовлений різноманітністю поведінки учасників дорожнього руху. Значна частина схожих наукових робіт спрямована на підвищення ефективності пропуску ТП та забезпечення безпеки руху шляхом застосування алгоритмів оптимізації швидкості, планування траєкторій руху, надання пріоритету спеціальному транспорту, а також систем виявлення потенційних конфліктів і попередження аварійних ситуацій. Разом з тим зазначені підходи орієнтовані переважно на локальні задачі управління рухом і не передбачають формалізованої кількісної оцінки загальної складності транспортних взаємодій на перехрестях.

Ступінь складності перехрестя значною мірою визначається його планувальними характеристиками. Зокрема, на складність впливають: кількість смуг руху (перехрестя з великою кількістю смуг є більш вимогливими для водіїв, оскільки потребують своєчасного вибору правильної смуги відповідно до запланованого напрямку); наявність світлофорного регулювання (світлофори знижують когнітивне навантаження на водіїв, регулюючи черговість проїзду та зменшуючи кількість рішень, які необхідно приймати самостійно); тип геометрії перехрестя (деякі конфігурації, як-от кільцеві або турбокільцеві перехрестя, вимагають дотримання специфічних правил руху та певного рівня навичок, що підвищує загальну складність); інтенсивність ТП (більший обсяг транспорту призводить до зростання конфліктних ситуацій і ускладнює процес перетинання); інфраструктура для пішоходів і велосипедистів (наявність пішохідних переходів, велосипедних смуг та інших засобів забезпечення безпеки може як спростити, так і ускладнити організацію руху залежно від їхньої ефективності); географічні та кліматичні умови (такі чинники, як ухили, стан дорожнього покриття, обмежена видимість або несприятливі погодні умови, також впливають на загальну складність ділянки); особливості організації руху та чинні ПДР (специфічні правила (пріоритет, обгони тощо) можуть підвищити складність орієнтування на перехресті). Узагальнюючи, складність перехрестя є результатом взаємодії цих чинників і може сприйматися суб'єктивно, залежно від досвіду та навичок водіїв [16].

Складні перехрестя мають не лише високий рівень конфліктності ТП, але й геометричну та топологічну складність, що ускладнює їх точну ідентифікацію в дорожніх мережах [17]. Існуючі методи, які базуються на геометричних та топологічних статистиках, є похибковими, масштабозалежними та не завжди забезпечують цілісність перехрестя. Відповідно, точна інтегральна ідентифікація перехрестя є необхідною передумовою для коректної оцінки його складності та потенційної небезпеки.

У роботі [18] запропоновано кількісну оцінку складності транспортного середовища міських доріг на основі концепції «людина – транспорт – дорога» з поділом на статичну та динамічну складові. Для цього використано метод сірої реляційної аналізи та модифіковану гравітаційну модель. Попри комплексний характер запропонованого підходу та його орієнтацію на системний опис транспортного середовища, методика зосереджена переважно на задачах руху автономних ТЗ і не забезпечує прямого зв'язку між отриманими показниками складності та рівнем небезпеки або аварійності на перехрестях, що обмежує її практичне використання в інженерній оцінці безпеки дорожнього руху.

У ряді робіт зроблено спроби вдосконалення surrogate safety measures шляхом урахування поведінкових характеристик водія. Так, у роботі [19] складність дорожнього середовища оцінюється на основі реакції водія з використанням методу головних компонент для визначення ваг впливових факторів. Отримані результати свідчать про зменшення хибних спрацювань порівняно з показником TTC (Time To Collision). Водночас запропонований підхід орієнтований на умови поздовжнього руху (car-following), не враховує багатопотокові конфлікти та не забезпечує інтегральної оцінки небезпеки перехрестя, що обмежує його застосування в задачах аналізу складних вузлів ВДМ.

Сучасні підходи до оцінювання складності транспортних ситуацій дедалі частіше ґрунтуються на багатокритеріальних та нечітких методах прийняття рішень [20]. Водночас такі підходи не мають уніфікованих кількісних критеріїв і значною мірою залежать від експертних оцінок, що обмежує можливість об'єктивного визначення рівня складності та небезпеки дорожнього руху на конкретних елементах транспортної інфраструктури, зокрема на міських перехрестях.

Однією з найбільш поширених у вітчизняній практиці методик кількісної оцінки складності перехрестя є підхід, що базується на підрахунку конфліктних точок різних типів, що виникають на певному перехресті. Рівень складності визначається за п'ятибальною шкалою [21], заснованою на розрахунку показника складності  $m$ , що обчислюється за формулою

$$m = 1 \cdot N_1 + 3 \cdot N_2 + 5 \cdot N_3, \quad (1)$$

де  $N_1$  — кількість конфліктних точок розділення (оцінюються в 1 бал),  $N_2$  — точок злиття (оцінюються в 3 бали),  $N_3$  — точок перетинання (оцінюються в 5 балів). Інтерпретація показника складності:  $m < 40$  - перехрестя вважається нескладним,  $40 \leq m < 80$  - середній рівень складності,  $80 \leq m < 150$  - складне перехрестя,  $m \geq 150$  - дуже складне перехрестя.

Варто зауважити, що в поданій методиці оцінювання складності перехрестя, яка базується на підрахунку кількості конфліктних точок трьох типів — розділення, злиття та перетинання — не

враховано конфлікти за участю пішоходів. Необхідно відзначити, що попри очевидну актуальність проблеми, фактично відсутня не лише кількісна оцінка конфліктів між ТЗ та пішоходами, а й велосипедистами чи трамваями. Разом з тим, при детальному аналізі конкретного перехрестя та побудові схем організації руху такі конфліктні точки мають бути обов'язково відображені [22]. Дослідження взаємодії автомобілів із пішоходами певною мірою розвинуті в межах вивчення конфліктних ситуацій, який базується на натурному спостереженні за «передаварійними» подіями, коли учасники руху змушені здійснювати екстрені дії для уникнення зіткнення. Таких випадків значно більше, ніж реальних ДТП, що дозволяє швидше виявляти небезпечні місця. Метод дає змогу враховувати конфлікти «ТЗ – пішохід», застосовувати відеофіксацію та проводити аналіз за схемою «до і після». Водночас він потребує значних ресурсів, підготовлених спостерігачів і не забезпечує єдиної інтегральної оцінки складності перехрестя, а лише порівняльну характеристику рівня небезпеки. Крім того, питання врахування велосипедного руху та трамвайного транспорту в межах даного підходу залишається недостатньо опрацьованим.

Формула (1) передбачає лише взаємодію ТП, що створює обмежене уявлення про реальний рівень складності, особливо у випадках інтенсивного пішохідного руху. Такий підхід не дозволяє об'єктивно оцінити потенційні небезпеки, що виникають при перетині траєкторій пішоходів та ТЗ, хоча в умовах міських вулиць такі конфлікти часто є критичними з точки зору безпеки. Отже, для повнішої оцінки складності перехрестя доцільно доповнити методику врахуванням пішохідних конфліктних точок із відповідними ваговими коефіцієнтами.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є критичний аналіз існуючих методик оцінки безпеки регульованих і нерегульованих перехресть з урахуванням складності транспортних взаємодій, а також обґрунтування можливостей їх удосконалення шляхом уточнення системи конфліктних показників і принципів формування вагових коефіцієнтів з урахуванням уразливості учасників дорожнього руху.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для об'єктивнішої оцінки складності перехрестя з урахуванням усіх учасників дорожнього руху, зокрема пішоходів, до традиційної методики розрахунку показника складності було внесено уточнення. До трьох основних типів конфліктних точок (розділення, злиття та перетинання ТП) додано четвертий тип — конфліктні точки взаємодії ТЗ із пішоходами. Враховуючи вразливість пішоходів та потенційні наслідки таких конфліктів, їм було призначено ваговий коефіцієнт 4 (траєкторія його руху зазвичай передбачувана; ризик серйозних наслідків вищий, ніж при конфліктах ТЗ – ТЗ, але з нижчою імовірністю події, ніж у перетинаючих потоках ТЗ). Запропоноване значення вагового коефіцієнта має експертний характер і базується на поєднанні ймовірності виникнення конфлікту та тяжкості можливих наслідків, що узгоджується з підходами surrogate safety analysis. Таким чином, складність перехрестя доцільно розглядати не як прямий показник аварійності, а як індикатор потенційної небезпеки, що формується через кількість та типи конфліктних взаємодій. У зв'язку з цим формула для розрахунку складності набуває вигляду

$$m = 1 \cdot N_1 + 3 \cdot N_2 + 5 \cdot N_3 + 4 \cdot N_4, \quad (2)$$

де  $N_4$  — кількість конфліктних точок ТЗ з пішоходами (оцінюються в 4 бали).

Такий підхід дозволяє точніше відображати реальний рівень складності та безпеки перехрестя в умовах інтенсивного пішохідного руху.

Запропоноване доповнення класичної формули розрахунку складності перехрестя шляхом урахування конфліктних точок типу «ТЗ – пішохід» із фіксованим ваговим коефіцієнтом дозволяє частково врахувати вплив вразливих учасників дорожнього руху на рівень потенційної небезпеки. Одночасно таке розширення породжує низку методичних питань, пов'язаних із оцінкою інших типів конфліктних взаємодій, зокрема «ТЗ – велосипедист», «велосипедист – пішохід», «ТЗ – трамвай» та комбінованих багатосуб'єктних конфліктів.

Фіксоване задання окремого вагового коефіцієнта лише для одного типу взаємодії («ТЗ – пішохід») не дозволяє забезпечити методичну цілісність підходу, оскільки інші конфліктні ситуації, що потенційно характеризуються підвищеним ризиком травматизму або значною тяжкістю наслідків, залишаються поза межами кількісної оцінки. У такому випадку виникає необхідність або подальшого емпіричного задання великої кількості окремих коефіцієнтів для кожної пари учасників руху, або формування універсального принципу їх визначення.

З огляду на зазначене, доцільним є застосування узагальненого підходу до оцінки конфліктних взаємодій, який ґрунтується на концепції уразливості учасників дорожнього руху. В межах цього підходу ваговий коефіцієнт конфліктної точки визначається не стільки конкретно парою взаємодіючих учасників, скільки рівнем уразливості найбільш незахищеного з них.

Такий підхід узгоджується з сучасними принципами забезпечення безпеки дорожнього руху, зокрема концепціями Vision Zero та Sustainable Urban Mobility Planning, відповідно до яких пріоритет надається захисту вразливих учасників — пішоходів, велосипедистів та користувачів громадського транспорту.

У межах запропонованої методики всі учасники дорожнього руху класифікуються за зростанням рівня уразливості таким чином:

1. ТЗ індивідуального користування (легкові автомобілі);
2. Великогабаритні ТЗ (вантажні автомобілі, автобуси);
3. Рейковий міський транспорт (трамваї);
4. Велосипедисти;
5. Пішоходи.

Запропонована ієрархія відображає поєднання фізичної захищеності учасника, масо-габаритних характеристик ТЗ, можливості активного маневрування та ймовірної тяжкості наслідків у разі конфліктної взаємодії. Ваговий коефіцієнт конфліктної точки пропонується визначати як добуток базової ваги типу конфліктної взаємодії та коригуючого коефіцієнта уразливості

$$K = K_{\text{тип}} \cdot K_{\text{ур}}, \quad (3)$$

де  $K_{\text{тип}}$  — базовий коефіцієнт, що враховує характер взаємодії ТП (розділення, злиття, перетин);  $K_{\text{ур}}$  — коефіцієнт, що враховує рівень уразливості найбільш незахищеного учасника конфлікту.

Базові значення  $K_{\text{тип}}$  залишаються відповідними до класичної методики (розділення потоків — 1; злиття потоків — 3; перетин потоків — 5). Коригуючі коефіцієнти уразливості запропоновано встановити на експертній основі з урахуванням тяжкості можливих наслідків: легковий автомобіль — 1,0; вантажний ТЗ / автобус — 1,1; трамвай — 1,2; велосипедист — 1,4; пішохід — 1,6. У випадку багатосуб'єктної взаємодії визначальним вважається учасник з найбільшим значенням коефіцієнта уразливості. З урахуванням запропонованого підходу показник складності перехрестя може бути поданий у вигляді

$$m = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{\text{тип } i} \cdot K_{\text{ур } i}$$

де  $N_i$  — кількість конфліктних точок  $i$ -го типу;  $K_{\text{тип } i}$  — коефіцієнт характеру взаємодії;  $K_{\text{ур } i}$  — коефіцієнт уразливості.

Такий підхід дозволяє перейти від жорстко фіксованих коефіцієнтів для окремих пар учасників до універсальної методики, яка забезпечує цілісну та масштабовану оцінку складності і потенційної небезпеки перехрестя з урахуванням усіх учасників дорожнього руху. Запропонована методика забезпечує можливість кількісної оцінки будь-якого типу конфліктних взаємодій; узгоджується з європейськими підходами до пріоритетності вразливих учасників; не потребує введення великої кількості емпіричних коефіцієнтів; створює передумови для подальшої калібровки на основі статистики ДТП та даних відеоспостережень.

Для ілюстрації впливу врахування уразливих учасників дорожнього руху на результат оцінки складності розглянемо типове чотиристороннє міське перехрестя з такими характеристиками: по одній смузі руху в кожному напрямку; нерегульовані пішохідні переходи на всіх підходах; суміщений рух легкових автомобілів, громадського транспорту та велосипедистів; відсутність світлофорного регулювання.

Відповідно до традиційного підходу, що базується на підрахунку конфліктних точок ТП, для даного перехрестя було визначено кількість точок розділення потоків — 8; кількість точок злиття потоків — 8; кількість точок перетинання потоків — 16. Показник складності визначається за формулою (1) та становить 112. Згідно з прийнятою шкалою інтерпретації, перехрестя належить до об'єктів до складних ( $80 \leq m < 150$ ).

На перехресті можуть бути передбачені велосмуги або велодоріжки залежно від функціонального типу вулиці та прийнятого проектного рішення, оскільки зазначені елементи

формують різні типи конфліктних точок і потребують різного підходу до урахування уразливості учасників дорожнього руху (див. рис. 1).

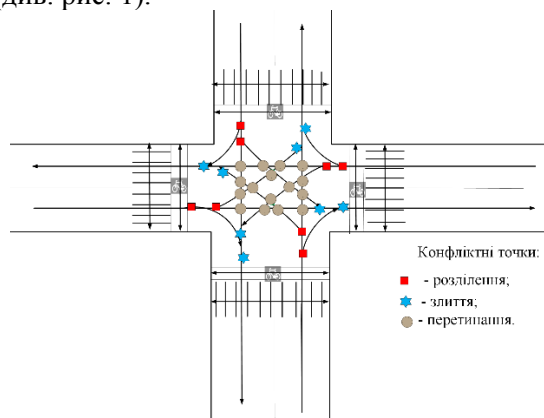


Рисунок 1 - Схема конфліктних взаємодій між учасниками дорожнього руху на міському перехресті за класичною методикою

У межах даного дослідження для ілюстрації методики оцінювання прийнято варіант організації руху з влаштуванням велодоріжок, що дає змогу розглядати велосипедистів як окрему уразливу категорію та чітко ідентифікувати додаткові конфліктні точки на перехресті (див. рис. 2).

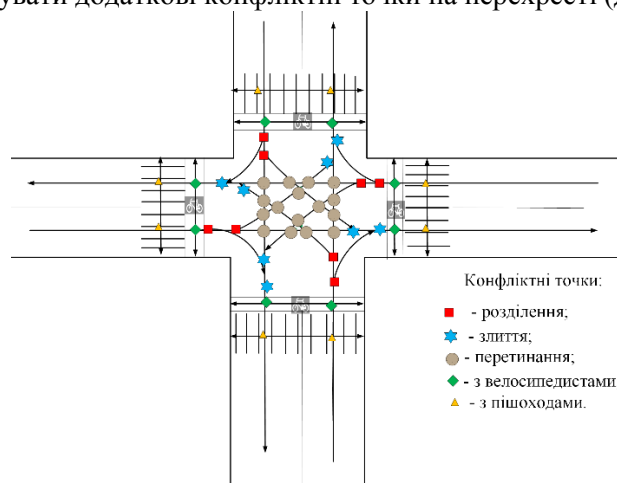


Рисунок 2 - Схема конфліктних взаємодій між учасниками дорожнього руху на міському перехресті за запропонованою методикою

У варіанті організації дорожнього руху з влаштуванням велодоріжок на перехресті додатково виникають конфліктні точки типу «ТЗ – пішохід» та «ТЗ – велосипедист». Кількість конфліктів першого типу становить 8, другого — також 8. З урахуванням коефіцієнтів уразливості, що дорівнюють відповідно 4 та 3 (згідно формули (2), додатковий показник складності становить 56. Хоча формула (2) розглядається як проміжний варіант, що демонструє обмеження фіксованого підходу та слугує обґрунтуванням переходу до узагальненої моделі (4). Таким чином, загальний показник складності перехрестя зростає з 112 до 168, що свідчить про істотний вплив уразливих учасників дорожнього руху на рівень конфліктності. Перехрестя вже є дуже складним ( $m \geq 150$ ).

Тож, класичний підхід недооцінює потенційний рівень небезпеки перехрестя в умовах інтенсивного пішохідного та велосипедного руху, оскільки ігнорує конфлікти з високою тяжкістю можливих наслідків. Запропоноване розширення методики дозволяє більш адекватно відобразити реальну складність транспортних взаємодій та потенційну небезпеку елементів ВДМ.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отримані результати свідчать, що запропонований підхід до оцінки складності перехресть із урахуванням коефіцієнтів уразливості не змінює базової логіки класичної методики, яка ґрунтується на підрахунку та класифікації конфліктних точок, проте істотно впливає на інтерпретацію кінцевого результату.

Зокрема, включення у розрахунок конфліктів за участю вразливих учасників дорожнього руху призводить до зростання інтегрального показника складності та, відповідно, до зміни категорії перехрестя за рівнем потенційної небезпеки.

На прикладі типового міського чотиристороннього перехрестя показано, що класична методика може недооцінювати рівень потенційної небезпеки в умовах інтенсивного пішохідного та велосипедного руху, оскільки конфлікти з високою тяжкістю можливих наслідків або не враховуються взагалі, або мають таку саму вагу, як і конфлікти між ТЗ. Запропоноване розширення дозволяє більш адекватно відобразити реальну складність транспортних взаємодій, особливо в умовах формування ВДМ, орієнтованих на пріоритет вразливих учасників.

Важливо зазначити, що використання коефіцієнтів уразливості не трансформує показник складності у прямий показник аварійності. Натомість він набуває значення індикатора потенційної небезпеки, що узгоджується з сучасними підходами surrogate safety analysis та дозволяє використовувати результати оцінювання для порівняльного аналізу альтернативних схем організації дорожнього руху, а також для пріоритезації заходів з підвищення безпеки.

Разом із тим запропонована методика має певні обмеження. Значення коригуючих коефіцієнтів уразливості на даному етапі мають експертний характер і не базуються безпосередньо на статистиці ДТП. Крім того, методика не враховує вплив інтенсивності руху, швидкісних режимів та часової варіабельності транспортних і пішохідних потоків, що може впливати на фактичний рівень ризику.

Водночас простота формалізації та універсальність запропонованого підходу створюють передумови для його подальшого розвитку. Зокрема, методика може бути доповнена процедурами калібрування вагових коефіцієнтів на основі статистики ДТП, даних відеоаналізу конфліктних ситуацій та експертних оцінок, що дозволить підвищити її точність та практичну цінність.

Подальший розвиток запропонованого підходу доцільно пов'язувати з розширенням класифікації конфліктних взаємодій між учасниками дорожнього руху за рахунок таких категорій, як «ТЗ – пішохід», «ТЗ – велосипедист», «велосипедист – пішохід», а також комбінованих багатосуб'єктних конфліктів за участю рейкового транспорту. Такий підхід дозволить більш повно охопити різноманіття реальних транспортних ситуацій, характерних для сучасних міських перехресть. Найбільш методично складним елементом подальшого розвитку є обґрунтування коригуючих вагових коефіцієнтів для різних типів конфліктних взаємодій. Перспективним напрямом є поєднання статистичного аналізу ДТП, досліджень передаварійних ситуацій на основі відеоспостереження та експертних оцінок, що дозволить перейти від експертно заданих значень коефіцієнтів до емпірично обґрунтованої шкали відносної небезпеки конфліктів. Адаптація запропонованого підходу до принципів Vision Zero та Sustainable Urban Mobility Planning створює передумови для його практичного застосування в системах управління безпекою дорожнього руху, орієнтованих на пріоритет захисту вразливих учасників та зниження тяжкості наслідків ДТП.

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження підтвердило, що класичні методики оцінки складності та безпеки перехресть, які ґрунтуються виключно на підрахунку конфліктних точок транспортних потоків, не забезпечують повноцінного врахування взаємодій за участю вразливих учасників дорожнього руху та, як наслідок, можуть призводити до недооцінки потенційного рівня небезпеки міських перехресть. Запропонований у роботі узагальнений підхід до формування вагових коефіцієнтів конфліктних точок, що базується на поєднанні характеру транспортної взаємодії та рівня уразливості найбільш незахищеного учасника конфлікту, дозволяє зберегти базову логіку класичної методики та водночас суттєво розширити її аналітичні можливості.

Отримані результати свідчать, що використання універсальної формули розрахунку показника складності перехрестя забезпечує кількісне врахування різноманітних типів конфліктних взаємодій без необхідності введення значної кількості фіксованих емпіричних коефіцієнтів. На прикладі типового міського перехрестя показано, що врахування конфліктів за участю пішоходів і велосипедистів може істотно змінювати кінцеву оцінку складності та потенційної небезпеки, що підтверджує доцільність застосування запропонованого підходу для обґрунтування та пріоритезації заходів з підвищення безпеки дорожнього руху.

Запропонована методика узгоджується з сучасними європейськими принципами забезпечення безпеки дорожнього руху, зокрема концепціями Vision Zero та Sustainable Urban Mobility Planning, і може бути використана на етапах аналізу, проєктування та порівняльної оцінки схем організації дорожнього руху. Подальші дослідження доцільно спрямувати на емпіричну калібровку коефіцієнтів уразливості на основі статистики дорожньо-транспортних пригод, даних відеоспостереження та аналізу передаварійних ситуацій, що дозволить підвищити прикладну надійність та точність запропонованого підходу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Статистика дорожньо-транспортних пригод. *Патрульна поліція*: веб-сайт. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 31.01.2026)
2. M. Salem, R. S., Zero, B. C., Omer, D. H., & Mohammed, G. J. (2025). Improving the Level of Service and Capacity of Shorish Road in Erbil Using HCS7 and HCM2010. *EURASIAN JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING*, 11(1), 24-37. <https://doi.org/10.23918/eajse.v11i1p3>
3. Li, J.; Zong, R.; Wang, Y.; Deng, W. Complexity Evaluation for Urban Intersection Scenarios in Autonomous Driving Tests: Method and Validation. *Appl. Sci.* 2024, 14, 10451. <https://doi.org/10.3390/app142210451>
4. Kumar V., Hassan T., Raj U., Gaurav A., Kumar N. Evaluation of uncontrolled intersection performance based on microscopic simulation // *International Research Journal of Education and Technology*. 2023. ISSN 2581-7795. Режим доступу: <https://www.irjweb.com/viewarticle.php?aid=EVALUATION-OF-UNCONTROLLED-INTERSECTION-PERFORMANCE-BASED-ON-MICROSCOPIC-SIMULATION> (дата звернення: 02.02.2026).
5. Cheng, Y.; Liu, Z.; Gao, L.; Zhao, Y.; Gao, T. Traffic Risk Environment Impact Analysis and Complexity Assessment of Autonomous Vehicles Based on the Potential Field Method. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 337. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610337>
6. Om Prakash Giri, Padma Bahadur Shahi, Janani Selvam, Sandeep Poddar, Amiya Bhaumik. Road traffic regulation and enforcement status: A Nepalese traffic police perspective, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Volume 26, 2024, 101188, ISSN 2590-1982, <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101188>.
7. Weinreuter, Hannes & Strelau, Nadine-Rebecca & Qiu, Kevin & Jiang, Yancheng & Deml, Barbara & Heizmann, Michael. (2022). Intersection Complexity and Its Influence on Human Drivers. *IEEE Access*. 10. 74059-74070. 10.1109/ACCESS.2022.3189017.
8. Shokrolah Shirazi, Mohammad & Morris, Brendan. (2016). Looking at Intersections: A Survey of Intersection Monitoring, Behavior and Safety Analysis of Recent Studies. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. PP. 1-21. 10.1109/TITS.2016.2568920.
9. Chenxi Wang, Stefania Zourlidou, Jens Golze & Monika Sester (2021) Trajectory analysis at intersections for traffic rule identification, *Geo-spatial Information Science*, 24:1, 75-84, DOI: 10.1080/10095020.2020.1843374
10. Zourlidou, S., Sester, M., & Hu, S. (2023). Recognition of Intersection Traffic Regulations from Crowdsourced Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(1), 4. <https://doi.org/10.3390/ijgi12010004>
11. Huang, P., Ding, H., Chen, H.: An entropy-based model for quantifying multi-dimensional traffic scenario complexity. *IET Intell. Transp. Syst.* 18, 1289–1305 (2024). <https://doi.org/10.1049/itr2.12510>
12. Foomani M., Alecsandru C., Awasthi A. Safety Performance Assessment of Stop-Operated Intersection Equipped with Active Road Sign // *Canadian Transportation Research Forum 50th Annual Conference – Another 50 Years: Where to From Here?* – Montreal, Quebec, Canada, 24–26 May 2015. – 14 p. – URL: [http://ctrf.ca/?page\\_id=3310](http://ctrf.ca/?page_id=3310) (дата звернення: 02.02.2026)
13. Yashasvi Rachakonda, Digvijay S. Pawar. Evaluation of intersection conflict warning system at unsignalized intersections: A review, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Volume 10, Issue 4, 2023, Pages 530-547, ISSN 2095-7564, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.04.003>.
14. Federal Highway Administration. *Safety Analysis*. FHWA Highway Safety Programs, Local and Rural Road Safety Program. — Washington, DC. <https://highways.dot.gov/safety/local-rural/intersection-safety-manual-local-rural-road-owners/3-safety-analysis>
15. Wang, J., Guo, X., & Yang, X. (2021). Efficient and Safe Strategies for Intersection Management: A Review. *Sensors*, 21(9), 3096. <https://doi.org/10.3390/s21093096>
16. Jordan P. *Technical knowledge for road safety engineers – intersection safety* [Електронний ресурс] : презентація. — Road Safety International. — Режим доступу: <https://www.carecprogram.org/uploads/10-Intersection-safety.pdf> (дата звернення: 02.02.2026).
17. Yang, J., Zhao, K., Li, M., Xu, Z., & Li, Z. (2021). Identifying Complex Junctions in a Road Network. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.3390/ijgi10010004>
18. Yang, Shijuan & Gao, Li & Yanan, Zhao & Li, Xurong. (2021). Research on the Quantitative Evaluation of the Traffic Environment Complexity for Unmanned Vehicles in Urban Roads. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3054882.
19. Liu, W., Chen, Y., Li, H., & Zhang, H. (2022). Quantitative Study on Road Traffic Environment Complexity under Car-Following Condition. *Sustainability*, 14(10), 6251. <https://doi.org/10.3390/su14106251>
20. Wei, Z., Zhou, H., & Zhou, R. (2024). Risk and Complexity Assessment of Autonomous Vehicle Testing Scenarios. *Applied Sciences*, 14(21), 9866. <https://doi.org/10.3390/app14219866>

21. О. Б. Потійчук, Л. М. Піліпака ПЗ2 Транспортні розв'язки: навч. посібник. [Електронне видання]. Рівне: НУБГП, 2020. 263 с. ISBN 978-966-327-481-2 [https://ep3.nuwm.edu.ua/19648/1/tr\\_posib\\_2.pdf](https://ep3.nuwm.edu.ua/19648/1/tr_posib_2.pdf)
22. Кашканов А.А., Кужель В.П. Організація дорожнього руху: навчальний посібник. Вінниця, 2016. 125 с.

#### REFERENCES

1. Statystyka dorozhno-transportnykh pryhod. Patrolna politsiia: veb-sait. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (data zvernennia: 31.01.2026)
2. M. Salem, R. S., Zero, B. C., Omer, D. H., & Mohammed, G. J. (2025). Improving the Level of Service and Capacity of Shorish Road in Erbil Using HCS7 and HCM2010. *EURASIAN JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING*, 11(1), 24-37. <https://doi.org/10.23918/eajse.v11i1p3>
3. Li, J.; Zong, R.; Wang, Y.; Deng, W. Complexity Evaluation for Urban Intersection Scenarios in Autonomous Driving Tests: Method and Validation. *Appl. Sci.* 2024, 14, 10451. <https://doi.org/10.3390/app142210451>
4. Kumar V., Hassan T., Raj U., Gaurav A., Kumar N. Evaluation of uncontrolled intersection performance based on microscopic simulation // *International Research Journal of Education and Technology*. 2023. ISSN 2581-7795. Rezhym dostupu: <https://www.irjweb.com/viewarticle.php?aid=EVALUATION-OF-UNCONTROLLED-INTERSECTION-PERFORMANCE-BASED-ON-MICROSCOPIC-SIMULATION> (data zvernennia: 02.02.2026).
5. Cheng, Y.; Liu, Z.; Gao, L.; Zhao, Y.; Gao, T. Traffic Risk Environment Impact Analysis and Complexity Assessment of Autonomous Vehicles Based on the Potential Field Method. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 337. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610337>
6. Om Prakash Giri, Padma Bahadur Shahi, Janani Selvam, Sandeep Poddar, Amiya Bhaumik. Road traffic regulation and enforcement status: A Nepalese traffic police perspective, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Volume 26, 2024, 101188, ISSN 2590-1982, <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101188>.
7. Weinreuter, Hannes & Strelau, Nadine-Rebecca & Qiu, Kevin & Jiang, Yancheng & Deml, Barbara & Heizmann, Michael. (2022). Intersection Complexity and Its Influence on Human Drivers. *IEEE Access*. 10. 74059-74070. 10.1109/ACCESS.2022.3189017.
8. Shokrolah Shirazi, Mohammad & Morris, Brendan. (2016). Looking at Intersections: A Survey of Intersection Monitoring, Behavior and Safety Analysis of Recent Studies. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. PP. 1-21. 10.1109/TITS.2016.2568920.
9. Chenxi Wang, Stefania Zourlidou, Jens Golze & Monika Sester (2021) Trajectory analysis at intersections for traffic rule identification, *Geo-spatial Information Science*, 24:1, 75-84, DOI: 10.1080/10095020.2020.1843374
10. Zourlidou, S., Sester, M., & Hu, S. (2023). Recognition of Intersection Traffic Regulations from Crowdsourced Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(1), 4. <https://doi.org/10.3390/ijgi12010004>
11. Huang, P., Ding, H., Chen, H.: An entropy-based model for quantifying multi-dimensional traffic scenario complexity. *IET Intell. Transp. Syst.* 18, 1289–1305 (2024). <https://doi.org/10.1049/itr2.12510>
12. Foomani M., Alecsandru C., Awasthi A. Safety Performance Assessment of Stop-Operated Intersection Equipped with Active Road Sign // *Canadian Transportation Research Forum 50th Annual Conference – Another 50 Years: Where to From Here? – Montreal, Quebec, Canada, 24–26 May 2015. – 14 p. – URL: [http://ctrf.ca/?page\\_id=3310](http://ctrf.ca/?page_id=3310)* (data zvernennia: 02.02.2026)
13. Yashasvi Rachakonda, Digvijay S. Pawar. Evaluation of intersection conflict warning system at unsignalized intersections: A review, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Volume 10, Issue 4, 2023, Pages 530-547, ISSN 2095-7564, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.04.003>.
14. Federal Highway Administration. Safety Analysis. FHWA Highway Safety Programs, Local and Rural Road Safety Program. — Washington, DC. <https://highways.dot.gov/safety/local-rural/intersection-safety-manual-local-rural-road-owners/3-safety-analysis>
15. Wang, J., Guo, X., & Yang, X. (2021). Efficient and Safe Strategies for Intersection Management: A Review. *Sensors*, 21(9), 3096. <https://doi.org/10.3390/s21093096>
16. Jordan P. Technical knowledge for road safety engineers – intersection safety [Elektronnyi resurs] : prezentatsiia. — Road Safety International. — Rezhym dostupu: <https://www.carecprogram.org/uploads/10-Intersection-safety.pdf> (data zvernennia: 02.02.2026).
17. Yang, J., Zhao, K., Li, M., Xu, Z., & Li, Z. (2021). Identifying Complex Junctions in a Road Network. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.3390/ijgi10010004>

18. Yang, Shijuan & Gao, Li & Yanan, Zhao & Li, Xurong. (2021). Research on the Quantitative Evaluation of the Traffic Environment Complexity for Unmanned Vehicles in Urban Roads. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3054882.

19. Liu, W., Chen, Y., Li, H., & Zhang, H. (2022). Quantitative Study on Road Traffic Environment Complexity under Car-Following Condition. Sustainability, 14(10), 6251. <https://doi.org/10.3390/su14106251>

20. Wei, Z., Zhou, H., & Zhou, R. (2024). Risk and Complexity Assessment of Autonomous Vehicle Testing Scenarios. Applied Sciences, 14(21), 9866. <https://doi.org/10.3390/app14219866>

21. O. B. Potichuk, L. M. Pilipaka P32 Transportni rozviazky: navch. posibnyk. [Elektronne vydannia]. Rivne: NUVHP, 2020. 263 s. ISBN 978-966-327-481-2 [https://ep3.nuwm.edu.ua/19648/1/tr\\_posib\\_2.pdf](https://ep3.nuwm.edu.ua/19648/1/tr_posib_2.pdf)

22. Kashkanov A.A., Kuzhel V.P. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia, 2016. 125 s.

### ***O. Kholodova, M. Buhaiova, O. Kholodov. Critical analysis of methods for assessing the safety of regulated and unregulated intersections, taking into account the complexity of transport interactions***

A critical analysis of classical and modern methods for assessing the safety of regulated and unregulated intersections, accounting for the complexity of traffic interactions, has been conducted. It has been shown that approaches based solely on accident statistics or the counting of conflict points have limited capacity to identify potentially dangerous situations and do not sufficiently account for interactions involving vulnerable road users — pedestrians, cyclists, and public transport users.

Based on a synthesis of research, the feasibility of moving from rigidly fixed empirical coefficients to a universal principle for forming weight indicators for conflict points is justified. A generalized approach to determining weighting coefficients for conflict interactions is proposed, combining the nature of transport interaction and the level of vulnerability of the most vulnerable participant in the conflict.

A universal formula for an integral indicator of intersection complexity has been developed, allowing the quantitative consideration of various types of conflict interactions, including those involving pedestrians, cyclists, and urban rail transport, without introducing a large number of separate empirical coefficients. The proposed indicator is interpreted as a measure of the potential danger at an intersection, consistent with the concept of surrogate safety analysis.

A typical urban, unregulated intersection demonstrates that accounting for conflicts involving vulnerable road users can significantly alter the final assessment of complexity and raise the intersection's potential danger category. This confirms the feasibility of the proposed approach for comparative assessment of alternative traffic management schemes and for prioritizing safety improvement measures.

**Key words:** road safety, intersections, conflict points, traffic interactions, vulnerable road users, integral complexity index, weighting coefficients.

*ХОЛОДОВА Ольга Олександрівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [olgakholodova2807@ukr.net](mailto:olgakholodova2807@ukr.net). <https://orcid.org/0000-0002-4217-0548>.

*БУГАЙОВА Марина Олександрівна*, старший викладач кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [kazmar2383@gmail.com](mailto:kazmar2383@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0003-1889-9555>.

*ХОЛОДОВ Олег Віталійович*, здобувач 3 курсу, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [kholodovoleg1408@gmail.com](mailto:kholodovoleg1408@gmail.com).

*Olga KHOLODOVA*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Assoc. Professor of Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: [olgakholodova2807@ukr.net](mailto:olgakholodova2807@ukr.net). <https://orcid.org/0000-0002-4217-0548>.

*Maryna BUHAIOVA*, senior lecturer of Department of Traffic Management and Road Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: [kazmar2383@gmail.com](mailto:kazmar2383@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0003-1889-9555>.

*Oleg KHOLODOV*, third-year student, faculty of transport systems, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: [kholodovoleg1408@gmail.com](mailto:kholodovoleg1408@gmail.com). <https://orcid.org/0009-0000-7706-5169>.

Дата надходження статті до видання: 13.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026

<https://doi.org/10.36910/39eh8d59>