

переходах відбувається скупчення великої кількості людей, що занадто довго очікують включення сигналу світлофора, що дозволяє рух пішоходів через проїзну частину.

На практиці доволі часто не приділяється достатньої уваги умовам пішохідного руху. Зусилля фахівців з організації дорожнього руху направляються головним чином на забезпечення руху транспортних засобів. Таке положення значною мірою пояснюється тим, що при аналізі ДТП як основні причини наїздів на пішоходів, як правило, виділяють порушення правил з боку пішоходів і водіїв, а вплив недоліків в організації руху, залишається недостатньо вивченим і врахованим.

Подальшим напрямом досліджень є підвищення безпеки руху пішоходів на перехрестях зі світлофорним регулюванням за рахунок впровадження раціональних схем пофазного роз'їзду та експериментальне оцінювання запропонованих рекомендацій з використанням програмного продукту імітаційного моделювання дорожнього руху PTV VISSIM.

Перелік використаної літератури

1. Статистика ДТП в Україні. Патрульна поліція: веб-сайт. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 25.09.2024).
2. Zeinab Karami, Sina Rejali, Kayvan Aghabayk. Investigating pedestrian's red light running intentions at urban intersection in different traffic Environments: A scenario-based analysis guided by theoretical frameworks. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. November 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.09.003>
3. Roja Ezzati Amini, Mohamed Abouelela, Ashish Dhamaniya, Bernhard Friedrich, Constantinos Antoniou. A game-theoretic approach for modelling pedestrian-vehicle conflict resolutions in uncontrolled traffic environments. *Accident Analysis & Prevention*. August 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107604>
4. Samsuddin Ahmed, Shahadat Hossain, Md. Ebrahim Shaik, Ahmed Shakik. Evaluation of speed characteristics and gap acceptance behavior of pedestrians of Asian Countries: A review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. September 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101199>

УДК 656.11

АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ОЦІНЮВАННЯ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Кашканова А.А., аспірантка кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: kashkanov9a@gmail.com

Проблема аварійності є притаманною не тільки нашій країні, а і усьому міжнародному суспільству [1, 2]. Сучасний стан аварійності потребує створення рекомендацій та формування заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху (БДР), поглибленого вивчення умов та причин виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП), з врахуванням затвердженого переліку завдань автотехнічної експертизи [3] та аудиту безпеки дорожнього руху [4]. Транспортні системи повинні реагувати на потреби користувачів та враховувати людський фактор. Підхід до організації дорожнього руху «Безпечна система» має на меті гарантувати безпеку транспортної системи для усіх учасників дорожнього руху.

Підвищення безпеки руху та його ефективності є важливою комплексною проблемою, яку можливо вирішити шляхом удосконалення усіх підсистем та елементів системи водій-автомобіль-дорога-навколишнє середовище (ВАДНС). Для визначення умов безпеки руху ТЗ та встановлення причин ДТП необхідно вивчити фактори, що впливають

на БДР в системі ВАДНС. В загальному випадку ці фактори можна розділити на об'єктивні (конструктивні параметри ТЗ, параметри та стан дороги, інтенсивності руху ТЗ та пішоходів, облаштованість доріг засобами регулювання руху, години доби, пора року тощо) та суб'єктивні (стан учасників дорожнього руху, порушення ними встановлених правил тощо). Взаємодія об'єктивних та суб'єктивних факторів утворює складну динамічну систему на дорогах, що включає сукупність елементів людина-автомобіль-дорога, які функціонують у певному середовищі, де формуються ризики виникнення ДТП.

Аналіз статистичних даних показує, що причиною виникнення більшості ДТП є людина [5], оскільки у переважній більшості випадків вони залежать від неправильних дій учасників руху (пішоходів та водіїв ТЗ) [1]. Тому більш докладне дослідження ролі людини взагалі та місця водія ТЗ в системі ВАДНС з точки зору його професійної діяльності може стати основою для формування шляхів зниження аварійності. Також, важливим аспектом забезпечення БДР є вибір методів та засобів організації дорожнього руху, який здійснюється на основі параметрів транспортних потоків [6].

Для оцінювання ризику виникнення ДТП застосовують різні методи та підходи. Розглянемо їх більш докладно.

Метод конфліктних ситуацій [7] застосовується для оцінювання небезпеки складних ділянок ВДМ та розробки заходів з їх реконструкції. Метод базується на експериментальному визначенні кількості конфліктних ситуацій за параметрами маневрування ТЗ: зміна траєкторії та швидкості руху, поперечних та поздовжніх прискорень. Це дозволяє визначити ймовірність виникнення ДТП за виразом

$$P_{\text{accident}} = \alpha_{TCS} \cdot N_{TCS}, \quad (1)$$

де P_{accident} – прогнозований рівень аварійності, ДТП/рік; α_{TCS} – коефіцієнт приведення конфліктних ситуацій до ДТП; N_{TCS} – середньорічне число конфліктних ситуацій.

Серед недоліків методу слід відзначити невисоку точність та складність визначення конфліктних ситуацій внаслідок неврахування ряду факторів, пов'язаних з аварійністю, особливо при відносно невеликій кількості аварійних ситуацій.

Метод конфліктних точок [8] заснований на аналізі місць перетину траєкторій конфліктуєчих ТЗ. Небезпеку конфліктної точки можна оцінити так

$$CP_i = K_i \cdot N_{1i} \cdot N_{2i} \cdot \frac{25}{K_V} \cdot 10^{-7}, \quad (2)$$

де K_i – коефіцієнт небезпеки конфліктної точки, який залежить від характеристик перетину, напрямку руху ТЗ, радіуса повороту тощо; N_{1i} , N_{2i} – інтенсивності руху ТЗ в конфліктних точках, авт./доб.; K_V – коефіцієнт річної нерівномірності руху.

Загальна небезпека руху на перехресті є адитивною небезпекою конфліктних точок. Даний метод використовується для визначення ризику виникнення ДТП на перехрестях та перетинах пішохідних і транспортних потоків, в основному для оцінювання безпеки в населених пунктах.

Метод лінійних графіків коефіцієнтів аварійності [9] заснований на аналізі умовної небезпеки на кожній типовій ділянці ВДМ. При цьому оцінюються відношення кількості ДТП у фактичних дорожніх умовах до кількості ДТП в еталонних умовах, які виникли б після проходження через ділянку дороги одного мільйона ТЗ. Ці відношення утворюють часткові коефіцієнти аварійності. Небезпека оцінюється за підсумковим коефіцієнтом аварійності K_{TA} , що визначається як добуток часткових коефіцієнтів K_{pi} . За значеннями підсумкового коефіцієнта аварійності будують лінійний графік з відображенням плану та поздовжнього профілю дороги. В якості доповнення до методу можливе оцінювання

важкості наслідків ДТП, врахування сезонних коливань показників якості автомобільних доріг, врахування погодних умов тощо. До недоліків методу слід віднести залежність вихідних даних від компетентності та сумлінності працівників поліції чи інших осіб, задіяних в складанні матеріалів ДТП.

Метод лінійних графіків коефіцієнтів безпеки [10] заснований на розрахунку епюр швидкостей руху на дорозі та виявлення місця і величини перепадів швидкості, за якими і здійснюється оцінка безпеки. Відповідно до значень отриманих коефіцієнтів K_{bez} визначається ступінь небезпеки ділянки дороги (ділянки, де коефіцієнт безпеки менше 0,4 – дуже небезпечні для руху, від 0,4 до 0,6 – небезпечні для руху, від 0,6 до 0,8 – малобезпечні для руху, при $K_{bez} \geq 0,8$ умови не впливають на БДР)

Метод має низку обмежень: врахування руху одиночного ТЗ, що характерно тільки для доріг з малою інтенсивністю; нехтування ділянками поступового зниження швидкості, які необхідні для безпечного в'їзду на криві малих радіусів та вузькі мости; принципова відсутність можливості врахування психологічного сприйняття водієм дорожніх умов.

Експертний метод [11] заснований на досвіді фахівців, які в результаті тривалого і якісного виконання своїх професійних обов'язків можуть самостійно оцінити ризик виникнення ДТП. Результати такого методу залежать від компетенції експертів та здебільшого використовуються як первинна оцінка. Метод доцільно використовувати за відсутності статистичних або експериментальних даних.

Багатофакторне регресійне моделювання ризиків виникнення ДТП [12] базується на аналізі вхідних змінних $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – параметрів, які характеризують дорожній рух на окремих ділянках ВДМ: добова інтенсивність руху, відстань видимості, ширина проїзної частини тощо. Регресійні рівняння, як правило мають вигляд

$$r = q_0 + q_1 \cdot x_1 + q_2 \cdot x_2 + \dots + q_n \cdot x_n, \quad (3)$$

де q_0, q_1, \dots, q_n – коефіцієнти, які знаходять на основі методу найменших квадратів.

При виникненні потреби врахування парних взаємодій параметрів, регресійні рівняння стають складнішими та набувають нелінійного характеру.

Основні обмеження методу: використання лише детермінованої інформації, чутливість до умов експерименту, необхідність обробки великого обсягу експериментального матеріалу.

Найбільша ефективність методу досягається при дослідженні місць концентрації ДТП.

Мультиплікативна методологія оцінювання небезпеки ділянок ВДМ – Highway Safety Manual (HSM) [13] складається з чотирьох частин: частина А – вступ, основи БДР; частина В – методи визначення ділянок ВДМ з високим потенціалом для підвищення БДР; частина С – методи прогнозування середньої аварійності залежно від параметрів дороги; частина D – методи оцінювання рівня зміни аварійності залежно від впроваджених заходів. Оцінювання потенційної небезпеки ділянки ВДМ – рівня середньої аварійності $N_{predicted,i}$ здійснюється за допомогою мультиплікативної моделі

$$N_{predicted,i} = N_{SPE,i} \cdot (AMF_1 \cdot AMF_2 \cdot \dots \cdot AMF_n) \cdot C_{0x}, \quad (4)$$

де $N_{SPE,i}$ – аварійність за стандартних (базових) умов; AMF – коефіцієнти зміни аварійності за рахунок відмінності даної ділянки дороги від стандартної; C_{0x} – поправочний коефіцієнт, який залежить від місцевих умов.

Результати аналізу основних підходів до визначення ризиків виникнення ДТП показують, що на даний час у якості моделі для розрахунку багато дослідників використовують мультиплікативну форму, яка відповідає положенням теорії ризику: при

незалежності факторів, сукупний ризик можна оцінити на основі добутку частинних ризиків. В процесі дослідження виявлено, що до факторів, які використовуються при моделюванні, науковці відносять постійні дорожні характеристики, що доводить необхідність їх обліку. В той же час визначена недостатність розроблених методів і моделей оцінки ризику виникнення дорожньо-транспортних пригод на ділянках ВДМ в умовах динамічної зміни зовнішнього середовища, а також відсутність можливості прогнозувати та оцінювати ризик виникнення ДТП на основі даних про стан зовнішнього середовища, хоча вплив його є значимим. Таким чином, перспективним напрямком подальших досліджень є удосконалення існуючих та створення нових методів оцінювання ризику виникнення аварійних ситуацій на основі сукупності дорожніх характеристик та елементів зовнішньої середовища з урахуванням взаємного впливу факторів ризику один на одного та складних поєднань їх дії на БДР.

Перелік використаної літератури

1. Кашканова А. А., Біліченко В. В. Аспекти забезпечення безпеки дорожнього руху в транспортних системах міст України. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. №1(22). С. 170-181. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1358>
2. Кашканов А. А. Технології підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2018. 160 с.
3. Науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертів та експертних досліджень. Наказ Міністерства юстиції України 08.10.98 № 53/5 (у редакції від 27.11.2023).
4. Порядок проведення аудиту безпеки автомобільних доріг. Наказ Міністерства інфраструктури України 09.04.2021 р. № 204. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 02.06.2021 р. за № 738/36360.
5. Rune Elvik. Risk factors as causes of accidents: Criterion of causality, logical structure of relationship to accidents and completeness of explanations. *Accident Analysis & Prevention*. Volume 197, March 2024, 107469. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107469>.
6. Абрамова Л. С. Аудит безпеки дорожнього руху: підручник / Л.С. Абрамова, І.С. Наглюк, В.В. Ширін, Г.Г. Птиця, С.В. Капінус; під заг. ред І.С. Наглюка. Харків : ХНАДУ, 2016. 260 с.
7. O. Barhoumi, M. H. Zaki and S. Tahar "A Formal Approach to Road Safety Assessment Using Traffic Conflict Techniques," in *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, vol. 5, pp. 606-619, 2024, doi: 10.1109/OJVT.2024.3387414.
8. AASHTO Green Book. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 7th Edition, 2018, 1047 p.
9. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 113 с.
10. Лобашов О. О., Прасоленко О. В. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. Х. : ХНАМГ, 2011. 221 с.
11. Ткаченко І. О. Ризики у транспортних процесах : навч. посібник. Харків : ХНУМГ, 2017. 114 с.
12. Sun D, Ai Y, Sun Y, Zhao L. A highway crash risk assessment method based on traffic safety state division. *PLoS One*. 2020 Jan 14;15(1): e0227609. doi: 10.1371/journal.pone.0227609. PMID: 31935238; PMCID: PMC6959613.
13. Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation. URL : <https://www.highwaysafetymanual.org/>.