

7. Ахмадинуров, М. М. Оптимизация светофорного регулирования с помощью программы моделирования транспортных потоков [Текст] / М. М. Ахмадинуров // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Компьютерные Технологии, Управление, Радиоэлектроника. – 2010. – № 22 (198). – С. 78–89.
8. Mobility Week United Nations Global Road Safety Week [Text] / 6-12 May, 2013. – P. 18–32.
9. Дудніков, О. М. Формалізація зміни площі конфліктних областей регульованого перехрестя з урахуванням змін інтенсивності взаємодії транспортних потоків [Текст] / О. М. Дудніков, А. В. Меженков // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. – 2012. – № 2 (15). – С. 96–105.
10. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими [Текст] / Д. Дрю; пер. с англ. – М: Транспорт, 1972. – 424 с.
11. Вол, М. Анализ транспортных систем [Текст] / М. Вол, Б. Мартин. – М: Транспорт, 1981. – 516 с.
12. Поліщук, В. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху [Текст]: навч. пос. / В. П. Поліщук, О. П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.

У роботі була проведена формалізація характеристик взаємодії транспортних засобів й пішоходів у відповідних конфліктних областях на площі перехрестя. Синтезовані енергетичні характеристики взаємодії транспортних засобів і пішоходів у відповідних конфліктних областях за запропонованими п'ятьма видами взаємодії транспортних та пішохідних потоків

Ключові слова: безпека руху, потік транспортний, потік пішохідний, перехрестя нерегульоване, конфліктна взаємодія

В работе была проведена формализация характеристик взаимодействия транспортных средств и пешеходов в соответствующих конфликтных областях на площади перекрестка. Синтезированы энергетические характеристики взаимодействия транспортных средств и пешеходов в соответствующих конфликтных областях по предложенным пятью видам взаимодействия транспортных и пешеходных потоков

Ключевые слова: безопасность движения, поток транспортный, поток пешеходный, перекресток нерегулируемый, конфликтное взаимодействие

УДК 656.13.05

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗАЄМОДІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ПІШОХОДІВ У КОНФЛІКТНИХ ОБЛАСТЯХ НА ПЛОЩІ ПЕРЕХРЕСТЯ

Н. О. Соколова

Асистент, аспірант

Кафедра «Транспортні технології»

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ

«Донецький національний технічний університет»

вул. Кірова, 51, м. Горлівка,

Донецька обл., 84646

E-mail: natawyna@yandex.ru

1. Вступ

Забезпечення безпеки руху є актуальною проблемою у більшості країнах світу. Лише за 2013 рік на дорогах України загинуло майже 5 тис. осіб і близько 46 тис. учасників дорожнього руху травмовано. Близько 60 % дорожньо-транспортних пригод від їх загальної кількості відбувається в містах [1].

В Україні з 2010 по 2013 роки на міських дорогах та вулицях було скоєно біля 69 % з усіх дорожньо-транспортних пригод [1, 2]. Більше половини з них – на міських перехрестях вулиць в одному рівні. Це підкреслює необхідність розроблення ефективних заходів забезпечення безпеки руху саме на перехрестях. За показниками тяжкості дорожньо-транспортних пригод найбільш небезпечними перехрестями

є нерегульовані перехрестя, тому вони потребують особливої уваги.

На цей час існує ряд методів, які характеризують безпеку руху на вказаних перехрестях і які застосовуються на практиці. Вказана статистика дорожньо-транспортних пригод, що наявна сьогодні, розкриває суттєву недосконалість відповідних методів та методик їх впровадження.

Аналіз цих методів показав наявність суттєвого недоліку у їх теоретичних положеннях: методи спираються лише на показник безпеки перехрестя та його кількісну оцінку без урахування якісних показників аварійності, які характеризують тяжкість дорожньо-транспортних пригод.

Таким чином, врахування тяжкості можливих дорожньо-транспортних пригод на нерегульованих перехрестях для забезпечення відповідного їх проектування є особливо актуальною задачею у вказаному напрямку наукових досліджень.

2. Літературний огляд

Сучасні дослідження проблеми підвищення безпеки дорожнього руху на нерегульованих перехрестях в межах транспортних систем міст [3] в більшості спрямовані на відповідний огляд та аналіз статистичних даних щодо наявної аварійності та відповідних швидкісних режимів транспортних засобів. Але аналіз аварійності створює уяву тільки в межах загальних тенденцій її зміни та дозволяє гіпотетично встановити деякі зв'язки з причин та наслідків. Дослідження формування аварійності з урахуванням позицій експертизи дорожньо-транспортних пригод [4] дозволили більш детально підійти до розкриття явищ взаємодії транспортних засобів в процесі дорожньо-транспортних пригод на кінематичному рівні. Додаткові дослідження у [5] дозволили об'єднати результати [3, 4] в прогностичні моделі формування аварійності на перехрестях доріг, тільки за її кількісними характеристиками, з урахуванням кінематичних характеристик руху транспортних засобів на площі перехрестя. Також на сьогодні наявні результати досліджень формування якісних характеристик аварійності на ділянках доріг у вигляді прогнозування тяжкості дорожньо-транспортних подій за енергетичними характеристиками транспортних потоків [6]. Підхід у [6] можливо застосувати для розвитку результатів досліджень аварійності на перехрестях за [3–5] в межах врахування тяжкості можливих дорожньо-транспортних пригод на нерегульованих перехрестях за енергетичними характеристиками взаємодії транспортних засобів на площі нерегульованого перехрестя. Аналіз результатів досліджень [8, 9] вказує на можливість врахування при цьому й пішохідного руху.

3. Постановка проблеми

Відповідно до вказаних попередньо аспектів щодо актуальності та важливості врахування у методиках оцінки безпеки нерегульованих перехресть доріг тяжкості можливих дорожньо-транспортних пригод з метою їх подальшої реконструкції або відповідно-

го проектування виникає можливість сформулювати мету роботи та її задачі.

Постає наукова задача вдосконалення методів оцінки небезпеки міських нерегульованих перехресть з урахуванням якісних показників аварійності, що характеризують тяжкість дорожньо-транспортних пригод.

Мета роботи аналіз та формалізація характеристик взаємодії транспортних засобів та пішоходів у конфліктних областях на площі перехрестя.

Задачі дослідження: провести аналіз існуючих спроб синтезу характеристик взаємодії транспортних засобів та пішоходів у конфліктних областях на площі перехрестя; синтезувати характеристики взаємодії транспортних засобів та пішоходів у конфліктних областях на площі перехрестя.

4. Формалізація характеристик взаємодії транспортних засобів та пішоходів на площі перехрестя

Для забезпечення більш якісного відображення формування безпеки руху на перехресті запропоновано вдосконалити кількісні характеристики до рівня врахування якісних характеристик аварійності за тяжкістю дорожньо-транспортних пригод. Пропонується ввести поняття безпеки області взаємодії транспортних засобів, яке розкриває узагальнену тяжкість дорожньо-транспортної пригоди, які можуть відбутися у вказаній області взаємодії.

Пропонується області взаємодії обмежувати відповідно до максимального значення динамічного коридору руху транспортних засобів у відповідних напрямках транспортних потоків, траєкторії котрих перетинаються, зливаються або розділяються. Кінетична енергія окремих учасників дорожнього руху на початку виникнення їхньої безпосередньої взаємодії обумовлюється відповідними енергетичними характеристиками руху транспортних та пішохідних потоків. У роботі [6] отримане рівняння безпеки руху одного транспортного потоку, відповідно до якого енергетична інтенсивність транспортного потоку прямо пропорційна тяжкості можливих дорожньо-транспортних пригод в такому потоці та прямо пропорційна масовій щільності й кубу швидкості руху вказаного транспортного потоку:

$$N_n = \frac{1}{2} q_m V_n^3, \quad (1)$$

де N_n - енергетична інтенсивність транспортного потоку, Дж/с, [6]; q_m - „масова щільність” транспортного потоку, кг/м, [6]; V_n^3 - швидкість транспортного потоку, м/с, [6].

Небезпеку кожної окремої області взаємодії U_i пропонується визначати за формулою, що передбачає отримання обсягу кінетичної енергії за добу, яка пройшла за двома транспортними потоками крізь область взаємодії у відсотку, який відповідає відносній небезпеки даної конфліктної області відповідно до всього перехрестя:

$$U_i = k_e \cdot (M_i^e + N_i^e) \cdot \frac{q_i}{G} = k_e \cdot \left(q_{m_i} \cdot V_{m_i}^3 + q_{n_i} V_{n_i}^3 \right) \frac{q_i}{2G}, \quad (2)$$

де U_i – небезпека i -ої області взаємодії транспортних потоків на площі перехрестя, Дж/доб.; M_i^e, N_i^e – енергетичні інтенсивності руху транспортних потоків (потужності транспортних потоків), що взаємодіють в i -ій області перехрестя, Дж/год.; k_e – коефіцієнт переводу енергетичної інтенсивності руху транспортних потоків з Дж/год. в Дж/добу; q_i – відносна аварійність у i -ій області взаємодії транспортних потоків на площі перехрестя, ДТП/рік; визначається за методикою Лобанова Е. М. [7]; G – можлива кількість дорожньо-транспортних пригод на пересіченні за один рік, ДТП/рік; визначається за методикою Лобанова Е. М. [7]; q_{m_i}, q_{n_i} – „масова щільність транспортного потоку”, величина, яка дорівнює відношенню сумарної маси транспортних засобів потоку до довжини ділянки дороги де вони розташовані, відповідно для двох транспортних потоків, які взаємодіють у відповідній області, кг/км, [6]; $V_{m_i}^3, V_{n_i}^3$ – швидкості транспортних потоків, які взаємодіють у відповідній області, км/год.

Загальну небезпеку на нерегульованому пересіченні доріг в одному рівні пропонується у методиці оцінювати за наступними формулами [7]:

$$G = \sum_{i=1}^{n_0} q_i, \quad q_i = K_i \cdot M_i \cdot N_i \cdot \frac{25}{K_3} \cdot 10^{-7}, \quad (3)$$

де q_i – небезпека кожної конфліктної точки; K_i – величина відносної аварійності конфліктної точки [7]; M_i, N_i – інтенсивності руху у конфліктній точці, авт./доб.; K_3 – коефіцієнт річної нерівномірності руху [7]; n_0 – число конфліктних точок на пересіченні, дорівнює кількості областей взаємодії на площі перехрестя, од.

Значення (1) з урахуванням (3)

$$\begin{aligned} U_i &= k_e \cdot (M_i^e + N_i^e) \cdot \frac{q_i}{G} \\ &= k_e \cdot (q_{m_i} \cdot V_{m_i}^3 + q_{n_i} \cdot V_{n_i}^3) \cdot \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i \cdot \frac{25}{K_3} \cdot 10^{-7}}{2 \sum_{i=1}^{n_0} q_i}, \\ U_i &= k_e \cdot (q_{m_i} \cdot V_{m_i}^3 + q_{n_i} \cdot V_{n_i}^3) \cdot \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Значення (4) передбачає розкриття взаємодії транспортних засобів у відповідних областях перетину, розділу та злиття на макроскопічному рівні дослідження транспортних потоків. Проведемо уточнення формули (4) з урахуванням відсотка кінетичної енергії, який спрямований на удар:

$$U_i = K_{n,a,p} \cdot k_e \cdot (q_{m_i} \cdot V_{m_i}^3 + q_{n_i} \cdot V_{n_i}^3) \cdot \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)}, \quad (5)$$

де $K_{n,a,p}$ – коефіцієнт тяжкості можливих дорожньо-транспортних пригод при взаємодії відповідних потоків (відсоток кінетичної енергії, який спрямований на удар), од. [9].

Рух транспортних засобів через перехрестя доріг передбачає розглянуту у попередньому розділі взаємодію відповідних транспортних засобів, що, при наявності взаємодії, відображається у зниженні швидкостей руху вказаних транспортних засобів. Чим ефективніше організований рух на перехресті, тим меншими спостерігаються зниження швидкостей, тим менші значення прискорень транспортних засобів, які при цьому виникають.

Вказані логічні обумовленості розкривають необхідність врахування у дослідженнях коливання швидкостей, та прискорень, які повинні відобразитися у (5).

З урахуванням вказаного запишемо наступні формули:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_{v_{m_j}}^2 &= \frac{1}{m_j} \sum_{k=1}^{m_j} (v_{m_k} - \bar{v}_m)^2 = \frac{1}{m_j} \sum_{k=1}^{m_j} \left(v_{m_k} - \left(\frac{1}{m_j} \sum_{k=1}^{m_j} v_{m_k} \right) \right)^2, \\ \sigma_{a_{m_j}}^2 &= \frac{1}{m_j} \sum_{k=1}^{m_j} (a_{m_k} - \bar{a}_m)^2 = \frac{1}{m_j} \sum_{k=1}^{m_j} \left(a_{m_k} - \left(\frac{1}{m_j} \sum_{k=1}^{m_j} a_{m_k} \right) \right)^2, \\ \sigma_{v_{n_j}}^2 &= \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (v_{n_k} - \bar{v}_n)^2 = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} \left(v_{n_k} - \left(\frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} v_{n_k} \right) \right)^2, \\ \sigma_{a_{n_j}}^2 &= \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} (a_{n_k} - \bar{a}_n)^2 = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} \left(a_{n_k} - \left(\frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} a_{n_k} \right) \right)^2, \end{aligned} \right. \quad (6)$$

де $\sigma_{v_{m_j}}, \sigma_{v_{n_j}}$ – середнє квадратичне відхилення швидкостей руху транспортних засобів на j -ій ділянці руху визначеної довжини по площі перехрестя та по відповідним підходам за головним та другорядним напрямками, м/с; $\sigma_{a_{m_j}}, \sigma_{a_{n_j}}$ – середнє квадратичне відхилення прискорення руху транспортних засобів на j -ій ділянці руху визначеної довжини по площі перехрестя та по відповідним підходам за головним та другорядним напрямками, м/с²; \bar{v}_m, \bar{v}_n – середнє арифметичне значення швидкостей руху транспортних засобів на j -ій ділянці руху визначеної довжини по площі перехрестя та по відповідним підходам за головним та другорядним напрямками, м/с; \bar{a}_m, \bar{a}_n – середнє арифметичне значення прискорень руху транспортних засобів на j -ій ділянці руху визначеної довжини по площі перехрестя та по відповідним підходам за головним та другорядним напрямками, м/с²; V_{m_k}, V_{n_k} – миттєва швидкість k -го транспортного засобу, що рухає на j -ій ділянці руху визначеної довжини по площі перехрестя та по відповідним підходам за головним та другорядним напрямками, м/с; a_{m_k}, a_{n_k} – миттєве прискорення k -го транспортного засобу, що рухає на j -ій ділянці руху визначеної довжини по площі перехрестя та по відповідним підходам за головним та другорядним напрямками, м/с².

З урахуванням (6) значення швидкостей у формулі (5) можливо записати у наступному вигляді:

$$U_i = K_{n,z,p} \cdot k_e \cdot \left(q_{m_i} \cdot \left(V'_{m_i} - \sigma_{v_{m_j}} \right)^3 + q_{n_i} \cdot \left(V'_{n_i} + \sigma_{v_{n_j}} \right)^3 \right) \times \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)} \tag{7}$$

де V'_{n_i} , V'_{m_i} – швидкості транспортних потоків відповідно головного та другорядного напрямків руху на в'їзді до підходів перехрестя, м/с.

У формулі (7) знак „+” або „-” перед середнім квадратичним відхиленням швидкостей руху передбачає врахування відповідне збільшення або зменшення швидкостей руху в залежності від пріоритету проїзду області взаємодії для якої розраховується значення небезпеки U_i .

Для врахування у математичних залежностях взаємодії транспортних засобів та пішоходів пропонується формулу (7) записати у наступному вигляді, при взаємодії транспортних засобів з головного напрямку руху:

$$U_i = K_{n,z,p} \cdot k_e \cdot \left(q_{m_i} \cdot \left(V'_{m_i} - \sigma_{v_{m_j}} \right)^3 + q_{p_i} \cdot \left(V'_{p_i} + \sigma_{v_p} \right)^3 \right) \times \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)} \tag{8}$$

де V'_{p_i} – швидкість потоку пішоходів відповідного напрямку руху у перетині пішохідного переходу, що знаходиться на початку переходу, м/с; σ_{v_p} – середнє квадратичне відхилення швидкостей руху пішоходів при їх русі через пішохідний перехід, м/с; q_{p_i} – „масова щільність” пішохідного потоку, величина, яка дорівнює відношенню сумарної маси пішоходів з потоку до довжини ділянки дороги, де вони розташовані, кг/м.

У формулі (8) знак „+” перед середнім квадратичним відхиленням швидкостей руху пішоходів передбачає врахування збільшення швидкості руху через пішохідний перехід при наближенні транспортного засобу.

Надалі розглянемо „масові щільності” транспортних потоків на предмет їх розкриття при створенні аварійно небезпечних ситуацій. „Масова щільність” транспортного потоку за визначенням має наступну формулу її визначення [5]:

$$q_{m_i} = \frac{\sum_{k=1}^{m_i} m_k}{l_j} \tag{9}$$

де m_k – маса k-го транспортного засобу, який знаходиться на ділянці формування сукупності транспортних засобів, що утворює транспортний потік до конфліктної області, кг; l_j – довжина ділянки формування сукупності транспортних засобів, що утворює транспортний потік до конфліктної області, м; вказана відстань приймається відповідно до схеми перехрестя між границями сусідніх областей взаємодії за відповідними траєкторіями руху, так як, для кожної області взаємодії характерні дві траєкторії, то приймається найменша, що виключає транспортні засоби

відповідного сусіднього напрямку, бо вони не мають можливості утворити пару транспортних засобів, яка буде взаємодіяти.

У зв'язку з необхідністю зниження швидкості руху транспортними засобами при наближенні до конфліктної області утворюється послідовна рухома черга транспортних засобів, яка рухається з відповідними мінімальними дистанціями.

Шлях зупинки транспортного засобу прийнято у експертизі ДТП розраховувати за наступною формулою [4]:

$$S_o = (t_1 + t_2 + 0,5t_3) V_a + \frac{(V_a)^2}{2j} \tag{10}$$

де S_o – значення шляху зупинки відповідного транспортного засобу, м; t_1 – час реакції водія на появу зменшення швидкості транспортного засобу, який рухається попереду [4], с; t_2 – час спрацювання гальмівної системи відповідного транспортного засобу [4], с; t_3 – час зростання сповільнення відповідного транспортного засобу [4], с; V_a – початкова швидкість відповідного транспортного засобу в процесі гальмування, м/с; j – сповільнення відповідного транспортного засобу в процесі гальмування, м/с².

Для окремої пари транспортних засобів, які рухають один за одним запишемо співвідношення між мінімальною дистанцією шляхами зупинки та габаритними довжинами транспортних засобів:

$$D_{min} = \left[(S_o)_{k+1} + d + (L_a)_k \right] - \left[(S_o)_k + (L_a)_{k+1} \right] \tag{11}$$

де D_{min} – мінімальна дистанція між послідовними транспортними засобами, при русі їх в черзі до конфліктної області, м; $(S_o)_{k+1}$, $(S_o)_k$ – шляхи зупинки, відповідно k-го транспортного засобу та k+1 транспортного засобу, який рухається попереду, м; $(L_a)_{k+1}$, $(L_a)_k$ – габаритні довжини, відповідно k-го транспортного засобу та k+1 транспортного засобу, який рухається попереду, м; d – мінімальна дистанція між транспортними засобами після зупинки, м.

Значення $(L_a)_{k+1}$, $(L_a)_k$ у формулі (11) прийемо з усередненням:

$$(L_a)_k = (L_a)_{k+1} = L_a \pm \sigma_l \tag{12}$$

де σ_l – середнє квадратичне відхилення габаритних довжин транспортних засобів у формуванні черги, м.

Значення мінімальної дистанції між транспортними засобами після зупинки d прийемо відповідно до рекомендацій [3, 10, 11].

Відповідно до (10), (11) та (12) отримаємо наступну залежність:

$$D_{min} = \left[(t_{1_{k+1}} + t_{2_{k+1}} + 0,5t_{3_{k+1}}) V_{a_{k+1}} + \frac{(V_{a_{k+1}})^2}{2 \cdot g \cdot \phi_x} \right] - \left[(t_{1_k} + t_{2_k} + 0,5t_{3_k}) V_{a_k} + \frac{(V_{a_k})^2}{2 \cdot g \cdot \phi_x} \right] + d \pm \sigma_l \tag{13}$$

$$D_{\min} = [(t_{1_{k+1}} + t_{2_{k+1}} + 0,5t_{3_{k+1}})V_{a_{k+1}} - (t_{1_k} + t_{2_k} + 0,5t_{3_k})V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \phi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] + d \pm \sigma_L, \quad (14)$$

З урахуванням отриманих результатів (14) та значення (9) отримаємо наступний запис для значення масової щільності транспортного потоку у вигляді рухомої черги транспортних засобів, що наближується до конфліктної області на площі перехрестя:

$$(q_m^{\max})_i = \frac{\sum_{k=1}^{m_j} m_k}{\sum_{k=1}^{m_j} ((D_{\min})_k + (L_a)_k)}, \quad (15)$$

$$(q_m^{\max})_i = \frac{\sum_{k=1}^{m_j} m_k}{m_j(d + L_a \pm \Gamma) + \sum_{k=1}^{m_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \phi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]}, \quad (16)$$

де T_{k+1} , T_k – сумарний час, що передує гальмуванню, відповідно k-го транспортного засобу та k+1 транспортного засобу, який рухається попереду, с:

$$T_{k+1} = t_{1_{k+1}} + t_{2_{k+1}} + 0,5t_{3_{k+1}}, \quad T_k = t_{1_k} + t_{2_k} + 0,5t_{3_k}.$$

Значення (16) для „масової щільності” транспортного потоку підставимо до значення (7), отримаємо:

$$U_i = K_{n,з,р} \cdot k_e \cdot \left(\frac{\sum_{k=1}^{m_j} m_k}{m_j(d + L_a \pm \Gamma) + \sum_{k=1}^{m_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \phi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) \left(V'_{m_i} - \sigma_{v_{m_j}} \right)^3 + \left(\frac{\sum_{k=1}^{n_j} m_k}{n_j(d + L_a \pm \Gamma) + \sum_{k=1}^{n_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \phi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) \left(V'_{n_i} + \sigma_{v_{n_j}} \right)^3 \times \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)}. \quad (17)$$

Для врахування руху пішоходів, пропонується „масову щільність” пішохідного потоку розписати по аналогії з транспортним потоком:

$$(q_p^{\max})_i = \frac{\sum_{k=1}^{p_j} m_{p_k}}{\sum_{k=1}^{p_j} \left[[t_{p_{k+1}} V_{p_{k+1}} - t_{p_k} V_{p_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \phi_x} [(V_{p_{k+1}})^2 - (V_{p_k})^2] \right] + d_p + L_p}, \quad (18)$$

де m_{p_k} – маса тіла k-го пішохода, кг; p_j – кількість пішоходів на ділянці переходу, що аналізується, од.; $t_{p_{k+1}}$, t_{p_k} – час реакції пішохода на зменшення швидкості попереднього пішохода, с; $V_{p_{k+1}}$, V_{p_k} – швидкості пішоходів, які послідовно рухаються у пішохідному потоці, м/с; d_p – мінімальна дистанція між пішоходами після їх зупинення, м; приймаємо за рекомендаціями [10,11]; L_p – довжина особистого простору пішохода, приймаємо за [8, 9,11].

З урахуванням попередніх розробок у розділі 2 та отриманих формул у попередньому дослідженні запишемо відповідні розрахункові формули:

– Водій головного напрямку ↔ Водій другорядного напрямку:

$$U_i = K_{n,з,р} \cdot k_e \cdot \left(\frac{\sum_{k=1}^{m_j} m_k}{m_j(d + L_a \pm \Gamma) + \sum_{k=1}^{m_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \phi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) \left(V'_{m_i} - \sigma_{v_{m_j}} \right)^3 + \left(\frac{\sum_{k=1}^{n_j} m_k}{n_j(d + L_a \pm \Gamma) + \sum_{k=1}^{n_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \phi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) \left(V'_{n_i} + \sigma_{v_{n_j}} \right)^3 \times \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)}. \quad (19)$$

– Водій головного напрямку ↔ Водій головного напрямку;

$$U_i = K_{n,з,р} \cdot k_e \cdot \left(\frac{\sum_{k=1}^{n_j} m_k}{n_j(d+L_a \pm \Gamma_L) + \sum_{k=1}^{n_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) (V'_{n_i} - \sigma_{v_{n_j}})^3 + \left. \frac{\sum_{k=1}^{n_j} m_k}{n_j(d+L_a \pm \Gamma_L) + \sum_{k=1}^{n_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) (V'_{n_i} - \sigma_{v_{n_j}})^3 \times \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)} \tag{20}$$

– Водій другорядного напрямку ↔ Водій другорядного напрямку;

$$U_i = K_{n,з,р} \cdot k_e \cdot \left(\frac{\sum_{k=1}^{m_j} m_k}{m_j(d+L_a \pm \Gamma_L) + \sum_{k=1}^{m_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) (V'_{m_i} - \sigma_{v_{m_j}})^3 + \left. \frac{\sum_{k=1}^{m_j} m_k}{m_j(d+L_a \pm \Gamma_L) + \sum_{k=1}^{m_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) (V'_{m_i} - \sigma_{v_{m_j}})^3 \times \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)} \tag{21}$$

– Водій головного напрямку ↔ пішохід;

$$U_i = K_{n,з,р} \cdot k_e \cdot \left(\frac{\sum_{k=1}^{n_j} m_k}{n_j(d+L_a \pm \Gamma_L) + \sum_{k=1}^{n_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) (V'_{n_i} - \sigma_{v_{n_j}})^3 + \left. \frac{\sum_{k=1}^{p_j} m_{p_k}}{\sum_{k=1}^{p_j} \left[[t_{p_{k+1}} V_{p_{k+1}} - t_{p_k} V_{p_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} [(V_{p_{k+1}})^2 - (V_{p_k})^2] + d_p + L_p \right]} \right) (V'_{p_i} + \sigma_{v_{p_j}})^3 \times \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)} \tag{22}$$

– Водій другорядного напрямку ↔ пішохід;

$$U_i = K_{n,з,р} \cdot k_e \cdot \left(\frac{\sum_{k=1}^{m_j} m_k}{m_j(d+L_a \pm \Gamma_L) + \sum_{k=1}^{m_j} \left[[T_{k+1} V_{a_{k+1}} - T_k V_{a_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} [(V_{a_{k+1}})^2 - (V_{a_k})^2] \right]} \right) (V'_{m_i} - \sigma_{v_{m_j}})^3 + \left. \frac{\sum_{k=1}^{p_j} m_{p_k}}{\sum_{k=1}^{p_j} \left[[t_{p_{k+1}} V_{p_{k+1}} - t_{p_k} V_{p_k}] + \frac{1}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} [(V_{p_{k+1}})^2 - (V_{p_k})^2] + d_p + L_p \right]} \right) (V'_{p_i} + \sigma_{v_{p_j}})^3 \times \frac{K_i \cdot M_i \cdot N_i}{2 \sum_{i=1}^{n_0} (K_i \cdot M_i \cdot N_i)} \tag{23}$$

5. Висновки

У роботі запропоновано врахування в межах існуючих методик оцінки небезпеки нерегульованих перехресть доріг тяжкості можливих дорожньо-транспортних пригод.

Проведена формалізація характеристик взаємодії транспортних засобів й пішоходів у відповідних конфліктних областях на площі нерегульованого перехрестя. Введено поняття конфліктної області взаємодії транспортних та пішохідних потоків на площі перехрестя.

Синтезовані енергетичні характеристики взаємодії транспортних засобів і пішоходів у відповідних конфліктних областях за запропонованими п'ятьма видами взаємодії транспортних та пішохідних потоків. Отримані результати потребують подальших

досліджень щодо експериментального обґрунтування та отримання відповідного оціночного критерію безпеки руху, що дозволить більш ефективно виконувати проектування та реконструкцію нерегульованих перехресть доріг.

Література

1. Наши дороги Статистика ДТП в Украине за 2013-14 года [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://dtpua.com/stat_dtp.html.
2. Статистика ДТП в Украине [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://forinsurer.com/news/12/10/10/28285>.
3. Improving global road safety: Note by the Secretary-General // United Nations General Assembly Norway [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp1/Improving_Global_Roady_Safety_2011.pdf.
4. Домке, Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст] / Э. Р. Домке. – М.: Изд. центр «Академия», 2009. – 288 с.
5. Капский, Д. В. Прогнозирование аварийности на регулируемых конфликтных объектах [Текст] / Д. В. Капский // Безопасность дорожного движения Украины. ГНИЦ БДД ДДПСММ МВС Украины. – 2005. – № 3-4. – С. 78–88.
6. Дудніков, О. М. Формування й експериментальне обґрунтування системи оцінки рівня безпеки руху енергетичними характеристиками транспортного потоку [Текст] / О. М. Дудніков // Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний вісник МВС України. – 2003. – № 1-2. – С. 63–72.
7. Лобанов, Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя [Текст] / Е. М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1980. – 312 с.
8. Живоглядов, В. Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков [Текст] / В. Г. Живоглядов. – Ростов Н/Д: «Север-Кавказ. рег.», 2005. – 1082 с.
9. Дудніков, О. М. Урахування тяжкості дорожньо-транспортних пригод при оцінці потенційної небезпеки перехресть доріг на одному рівні [Текст] / О. М. Дудніков // Науково-виробничий збірник „Вісті автомобільно-дорожнього інституту”. – 2011. – № 2(13). – С. 35–46.
10. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения [Текст] / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ “Академкнига”, 2005. – 255 с.
11. Бабков, В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения [Текст] / В. Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.