

УДК 656.13.05

Дудніков О.М., к.т.н., Сніцаренко К.С., Пелих А.В.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

УРАХУВАННЯ ТЯЖКОСТІ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ПРИ ОЦІНЦІ ПОТЕНЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПЕРЕХРЕСТЬ ДОРІГ НА ОДНОМУ РІВНІ

Сформульовано підходи до оцінки тяжкості дорожньо-транспортних пригод на перехрестях доріг. Уточнено відповідну методику, яка встановлює зв'язок між кінематичними характеристиками руху транспортних засобів на площі перехрестя та можливою тяжкістю відповідних дорожньо-транспортних пригод.

Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішується

Стан безпеки руху в Україні на сьогоднішній день вважається найгіршим в Європі [1]. За останні десять років у державі зареєстровано 391134 ДТП, у яких загинуло 62141 осіб та травмовано 445832 осіб [2].

Більшість дослідників основною причиною аварійності називають неправомірну поведінку водіїв, посилаючись на офіційні дані статистики дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Зокрема, А.О. Собакарь на основі аналізу таких даних зробив висновок, що з вини водіїв транспортних засобів відбувається більша частина ДТП – близько 70 % від загальної кількості, 25 % – з вини пішоходів та 5 % – з інших причин [1]. Характерним є також те, що з усієї кількості ДТП 70 % виникає на території вулично-дорожньої мережі міста. Аналіз статистичних даних, в свою чергу свідчить, що серед ДТП в містах 75 % відбувається на перехрестях [3].

Зазначені дані статистики вказують на актуальність рішення наукових задач, що пов'язані з проблемою забезпечення безпеки дорожнього руху, насамперед, в області пересічень доріг. Вирішення вказаної проблеми неможливе без відповідного прогнозування тяжкості ДТП на перехрестях, що дає змогу ефективно визначити заходи з підвищення безпеки руху.

Аналіз останніх досліджень

У роботі [4] запропоновано, з відповідним оглядом існуючих методик, нову методику розрахунку імовірної аварійності на пересіченнях міського типу на одному рівні за режимами роботи світлофорного об'єкту, яка передбачає проведення наступних розрахунків:

$$K_a = \frac{G_p \cdot K_\Gamma \cdot 10^7}{(M_\Sigma + N_\Sigma) \cdot 25}, \quad (1)$$

$$G_p = q_0 + K_n \cdot (M_\Sigma + N_\Sigma) \cdot 10^{-2} + G_{np} + G_{жс}, \quad (2)$$

$$G_{np} = \left[\frac{t_r}{T_\gamma \cdot 24} \sum_{j=1}^{\phi} \left[(t_{zj} + t_{nj}) \cdot \sum_{i=1}^{n_j} K_{ji} \cdot \frac{M_{ji} \cdot N_{ji}}{0,076^2} \right] \right] \cdot \frac{2}{K_\Gamma} \cdot 10^{-7},$$

$$G_{жс} = \left[\frac{t_m}{24} \cdot \sum_{i=1}^{n_m} K_i \cdot \frac{M_i \cdot N_i}{0,076^2} \right] \cdot \frac{25}{K_\Gamma} \cdot 10^{-7},$$

де K_a – показник аварійності пересічення доріг, $ДТП/10$ млн.авт.;

G_p – імовірна кількість ДТП на пересіченні доріг зі світлофорним регулюванням за рік, *ДТП/рік*;

K_r – коефіцієнт річної нерівномірності руху, (відношення середньодобової інтенсивності руху до річної середньодобової інтенсивності руху) [5];

M_Σ , N_Σ – сумарні середні інтенсивності руху на підходах до пересічення доріг за головним та другорядним напрямками, *авт/год.*;

q_0 – емпіричний коефіцієнт, що дозволяє корегувати розрахунки відповідно до відсутності врахування супутніх впливових факторів на виникнення ДТП у запропонованій моделі, *ДТП/рік*;

K_n – небезпека наїзду, *ДТП/10 млн авт.* [1];

G_{np} – імовірна кількість ДТП на території пересічення зі світлофорним регулюванням у режимі жорсткого програмного регулювання, *ДТП/рік*;

$G_{жс}$ – імовірна кількість ДТП на території пересічення зі світлофорним регулюванням у режимі жовтого миготіння, *ДТП/рік*;

t_r – час роботи світлофорного об'єкту в режимі жорсткого програмного регулювання продовж доби, *год.*

t_m – час роботи світлофорного об'єкту в режимі жовтого миготіння продовж доби, *год.*;

T_ψ – тривалість циклу світлофорного регулювання, *с*;

ϕ – кількість фаз світлофорного регулювання, *од.*;

t_{zj} – тривалість основного такту у j -й фазі світлофорного регулювання, *с*;

t_{nj} – тривалість проміжного такту у j -й фазі світлофорного регулювання, *с*;

n_j – сумарна кількість конфліктних точок у j -й фазі світлофорного регулювання, *од.*;

K_{ji} – небезпека i -ої конфліктної точки у j -й фазі світлофорного регулювання, *ДТП/10 млн авт.* [5];

M_{ji} , N_{ji} – інтенсивності транспортних потоків у j -й фазі світлофорного регулювання, що пересікаються у i -й конфліктній точці за всіма схемами дозволеного руху, *авт./год.*;

n_m – кількість конфліктних точок за схемою дозволенних напрямків руху у режимі жовтого миготіння, *од.*;

K_i – небезпека i -ої конфліктної точки (відносна кількість ДТП у конфліктній точці) у режимі жовтого миготіння, *ДТП/10 млн авт.* [5];

M_i , N_i – інтенсивності транспортних потоків у режимі жовтого миготіння світлофорного об'єкту, що пересікаються у i -й конфліктній точці за схемою дозволеного руху, *авт/год.*

Наведена методика (1), (2) потребує удосконалення щодо врахування тяжкості ДТП на перехрестях доріг на одному рівні зі світлофорним регулюванням.

Мета роботи

Метою роботи є уточнення методики розрахунку імовірної аварійності на пересіченнях міського типу на одному рівні за режимами роботи світлофорного об'єкту до рівня врахування тяжкості ДТП.

Основна частина

На даний момент існують дослідження щодо наявності прямого зв'язку кількості руху з характеристиками наслідків ударної взаємодії транспортних засобів [6, 7, 8]. Прийнято

вважати, що вказаний зв'язок є прямо пропорційним [6, 7, 8]. Відповідно до положень теорії удару та теореми про збереження кількості руху, в залежності від попередніх траєкторій тіл, що стикаються, та відповідних напрямків векторів кількості руху, удар відбувається на рівні взаємодії, який розкривається проєкціями векторів кількості руху на пряму, що з'єднує центри тяжіння тіл (рисунок 1).

Удар тіл (рисунок 1) формується в межах складових $\left(m_1 \vec{V}_1\right)'$ та $\left(m_2 \vec{V}_2\right)'$. При розгляді транспортних засобів, складові $\left(m_1 \vec{V}_1\right)'$ та $\left(m_2 \vec{V}_2\right)'$ визначають рівень деформації транспортних засобів та інерційні сили, що діють на людей в салонах. Тобто, $\left(m_1 \vec{V}_1\right)'$ та $\left(m_2 \vec{V}_2\right)'$ визначають тяжкість ДТП. Пропонується характеризувати тяжкість ДТП через співвідношення:

$$\frac{m_1 V_1'}{m_1 V_1} = \frac{V_1'}{V_1} \text{ та } \frac{m_2 V_2'}{m_2 V_2} = \frac{V_2'}{V_2}, \text{ од.} \quad (3)$$

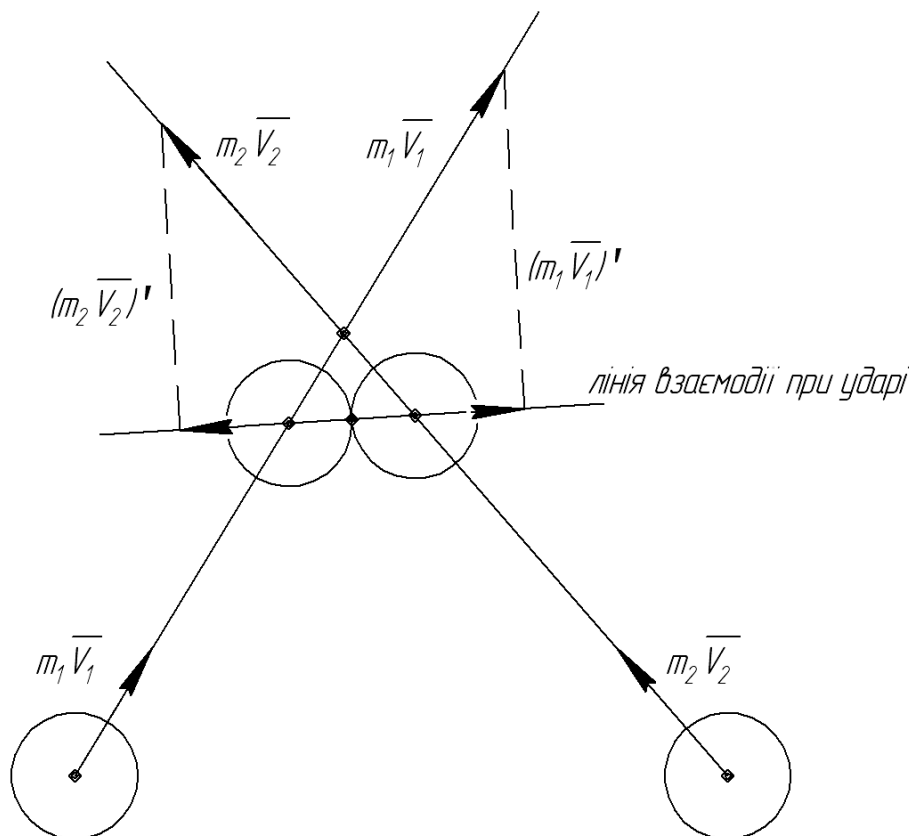


Рисунок 1 – Ударна взаємодія двох куль

$\vec{m}_i \vec{V}_i$ – вектор кількості руху i -тої кулі;

$\left(m_i \vec{V}_i\right)'$ – проєкція вектору кількості руху на лінію взаємодії при ударі.

Однак, зіткнення транспортних засобів має геометричні та фізичні відхилення від схеми ударної взаємодії двох куль (рисунок 1). Вказані відхилення пов'язані з наявністю у

транспортних засобів індивідуальних геометричних та фізичних характеристик та відповідних траєкторій руху до точки зіткнення (рисунок 2).

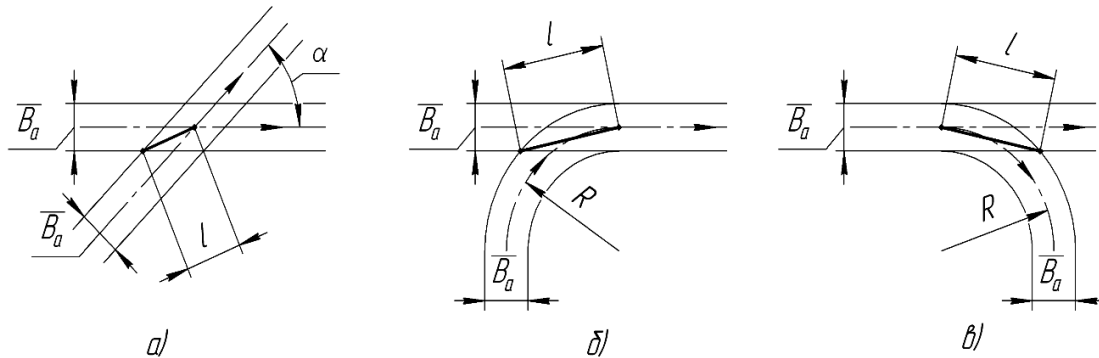


Рисунок 2 – Схеми перехрестя (а), злиття (б) та розділення (в) траєкторій руху транспортних засобів на території перехрестя

\overline{B}_a – усереднена габаритна ширина транспортного засобу, що рухається на території перехрестя;

l – відстань від точки імовірного дотику бічних поверхонь транспортних засобів до точки перехрестя траєкторій руху (конфліктна точка за Е.М. Лобановим);

α – кут перехрестя траєкторій руху транспортних засобів;

R – радіус повороту при розділенні або злитті траєкторій руху транспортних засобів.

За наведеними схемами видно, що при зміні α , R та \overline{B}_a відповідним чином змінюється l , тобто наявний детермінований зв'язок між значенням l та вказаними геометричними характеристиками. Спостерігається, що якщо траєкторії руху транспортних засобів паралельні, то $l = \infty$, а якщо зустрічні – $l = 0$. Вказані граничні випадки наведено на схемах рисунку 3.

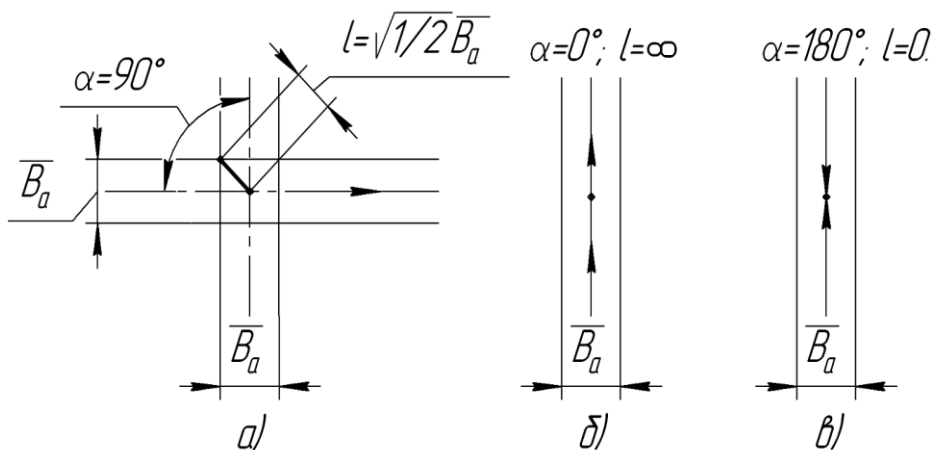


Рисунок 3 – Схеми перехрестя траєкторій руху транспортних засобів у випадках з відповідними значеннями l

За різними можливими схемами (рисунок 3) вектори кількості руху проектується на лінію зіткнення у різних значеннях: а) середнє значення; б) мінімальне значення; в) максимальне значення. Виникає задача пошуку зв'язку між характеристиками l та \overline{B}_a у відповідному стані зіткнення.

Приведемо схему ударної взаємодії при пересіченні траєкторій руху двох транспортних засобів з відповідними позначеннями (рисунок 4) з метою встановлення зв'язку між l та характеристикою тяжкості ДТП (3), тобто необхідно з'ясувати, яким чином співвідносяться

$$l \text{ та } \frac{V_i'}{V_i}.$$

З рівності вертикальних кутів маємо:

$$\alpha = \gamma_1 + \gamma_2. \quad (4)$$

Звідси:

$$\sin \alpha = \sin \gamma_1 + \gamma_2. \quad (5)$$

Згідно тригонометричної функції суми двох кутів (5) прийме вигляд:

$$\sin \alpha = \sin \gamma_1 \cos \gamma_2 + \cos \gamma_1 \sin \gamma_2. \quad (6)$$

У свою чергу, з рисунка 4 бачимо, що $\sin \gamma_1 = \frac{\overline{B_{a1}}}{2l}$; $\sin \gamma_2 = \frac{\overline{B_{a2}}}{2l}$, тому (6) прийме вигляд:

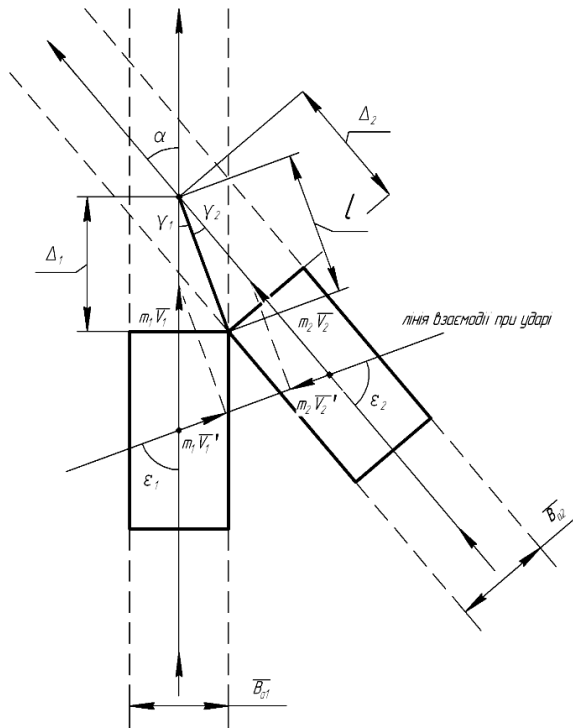


Рисунок 4 – Схема ударної взаємодії двох транспортних засобів при пересіченні траєкторій їх руху

$$\sin \alpha = \frac{\overline{B_{a1}}}{2l} \cdot \cos \gamma_2 + \cos \gamma_1 \cdot \frac{\overline{B_{a2}}}{2l}. \quad (7)$$

Бачимо також, що $\cos \gamma_1 = \frac{\Delta_1}{l}$; $\cos \gamma_2 = \frac{\Delta_2}{l}$. Виразимо Δ з прямокутних трикутників (рисунок 4), отримаємо:

$$\Delta_1 = \sqrt{l^2 - \frac{\overline{B_{a1}}^2}{4}}; \Delta_2 = \sqrt{l^2 - \frac{\overline{B_{a2}}^2}{4}}, \quad (8)$$

$$\cos \gamma_1 = \sqrt{1 - \frac{\overline{B_{a1}}^2}{4l^2}}; \cos \gamma_2 = \sqrt{1 - \frac{\overline{B_{a2}}^2}{4l^2}}. \quad (9)$$

Підставляючи (9) в (7), отримаємо:

$$\sin \alpha = \frac{\overline{B_{a1}}}{2l} \cdot \sqrt{1 - \frac{\overline{B_{a2}^2}}{4l^2}} + \sqrt{1 - \frac{\overline{B_{a1}^2}}{4l^2}} \cdot \frac{\overline{B_{a2}}}{2l} = \frac{\overline{B_{a1}}}{2l} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\overline{B_{a2}}}{2l}\right)^2} + \frac{\overline{B_{a2}}}{2l} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\overline{B_{a1}}}{2l}\right)^2}. \quad (10)$$

З іншого боку, оскільки сума кутів трикутника дорівнює 180° , то можемо записати:

$$\sin \alpha = \sin(180^\circ - \varepsilon_1 - \varepsilon_2). \quad (11)$$

Згідно тригонометричної функції різниці кутів маємо:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sin(180^\circ - \varepsilon_1) \cdot \cos(-\varepsilon_2) + \cos(180^\circ - \varepsilon_1) \cdot \sin(-\varepsilon_2) = \sin \varepsilon_1 \cdot \cos \varepsilon_2 + \\ &+ (-\cos \varepsilon_1) \cdot \sin(-\varepsilon_2) = \sin \varepsilon_1 \cdot \cos \varepsilon_2 + \cos \varepsilon_1 \cdot \sin \varepsilon_2. \end{aligned} \quad (12)$$

З рисунка 4 бачимо, що

$$\cos \varepsilon_1 = \frac{V_1'}{V_1}; \cos \varepsilon_2 = \frac{V_2'}{V_2}, \quad (13)$$

$$\sin \varepsilon_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \varepsilon_1}; \sin \varepsilon_2 = \sqrt{1 - \cos^2 \varepsilon_2}. \quad (14)$$

Враховуючи (13), (14) прийме вигляд:

$$\sin \varepsilon_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{V_1'}{V_1}\right)^2}; \sin \varepsilon_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{V_2'}{V_2}\right)^2}. \quad (15)$$

Підставимо (13) та (15) в (12), отримаємо:

$$\sin \alpha = \frac{V_2'}{V_2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_1'}{V_1}\right)^2} + \frac{V_1'}{V_1} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_2'}{V_2}\right)^2}. \quad (16)$$

Прирівнявши (16) та (10), отримаємо:

$$\frac{\overline{B_{a1}}}{2l} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\overline{B_{a2}}}{2l}\right)^2} + \frac{\overline{B_{a2}}}{2l} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\overline{B_{a1}}}{2l}\right)^2} = \frac{V_2'}{V_2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_1'}{V_1}\right)^2} + \frac{V_1'}{V_1} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_2'}{V_2}\right)^2}. \quad (17)$$

Рівняння (17) дозволяє зробити висновок, що

$$\frac{V_1'}{V_1} = \frac{\overline{B_{a1}}}{2l}; \frac{V_2'}{V_2} = \frac{\overline{B_{a2}}}{2l}. \quad (18)$$

Це означає, що відношення $\frac{\overline{B_a}}{2l}$ може застосовуватися як характеристика тяжкості можливих ДТП у точці перехрестя транспортних потоків. Пропонується використовувати саме усереднене значення габаритної ширини транспортного засобу $\overline{B_a}$, оскільки це значення змінюється в достатньо невеликих межах при розгляді транспортного потоку. Надалі пропонується для випадку взаємодії транспортних засобів, що розглядається при пересіченні траєкторій їх руху, ввести позначення коефіцієнта тяжкості ДТП:

$$K_{II} = \frac{\overline{B_a}}{2l}, \quad (19)$$

де K_{II} – запропонований коефіцієнт тяжкості можливих ДТП при пересіченні траєкторій руху транспортних засобів, од.;

B_a – усереднена габаритна ширина транспортного засобу, що рухається на території перехрестя, м.;

l – відстань від точки імовірного дотику бічних поверхонь транспортних засобів до точки перехрестя траєкторій руху, м.

Надалі необхідно розробити моделі, що дозволяють оцінювати тяжкість можливих ДТП відповідно при злитті та розділенні транспортних потоків.

З рисунка 5 видно, що кут γ дорівнює:

$$\sin \gamma = \sin(180^\circ - \varepsilon_1 - \varepsilon_2). \quad (20)$$

Згідно з тригонометричною функцією різниці кутів маємо:

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= \sin(180^\circ - \varepsilon_1) \cdot \cos(-\varepsilon_2) + \cos(180^\circ - \varepsilon_1) \cdot \sin(-\varepsilon_2) = \sin \varepsilon_1 \cdot \cos \varepsilon_2 + \\ &+ (-\cos \varepsilon_1) \cdot \sin(-\varepsilon_2) = \sin \varepsilon_1 \cdot \cos \varepsilon_2 + \cos \varepsilon_1 \cdot \sin \varepsilon_2. \end{aligned} \quad (21)$$

Бачимо також, що

$$\cos \varepsilon_1 = \frac{V_1'}{V_1}, \cos \varepsilon_2 = \frac{V_2'}{V_2}, \quad (22)$$

$$\sin \varepsilon_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \varepsilon_1}, \sin \varepsilon_2 = \sqrt{1 - \cos^2 \varepsilon_2}. \quad (23)$$

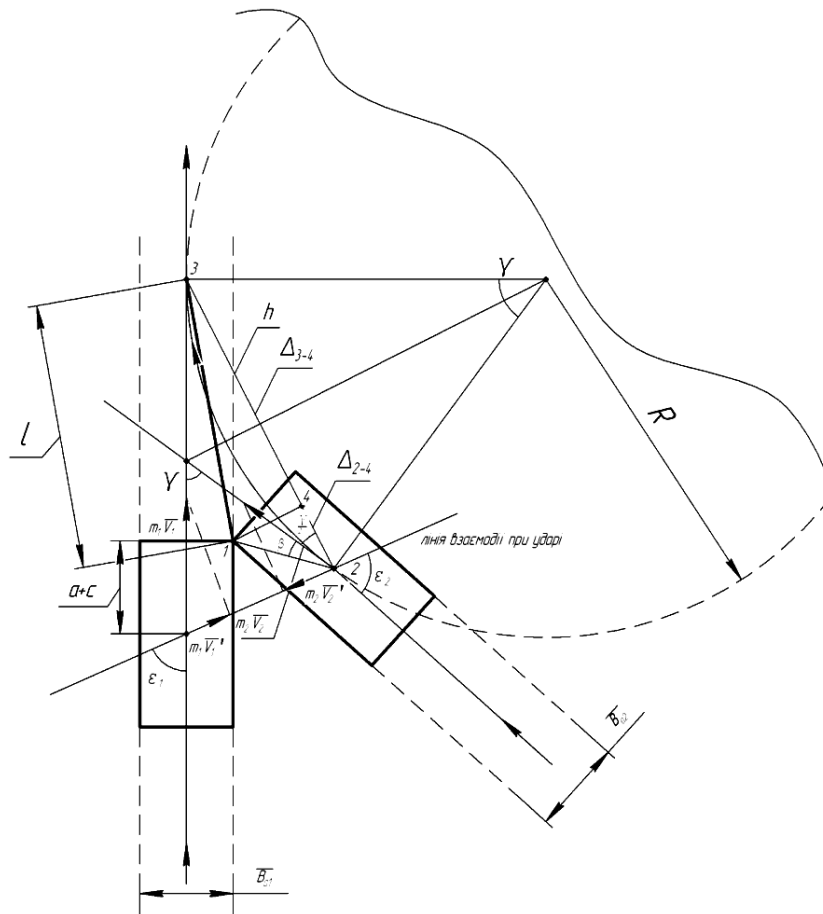


Рисунок 5 – Схема ударної взаємодії двох транспортних засобів при злитті (розділенні) траєкторій їх руху

Враховуючи (23), (22) прийме вигляд:

$$\sin \varepsilon_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{V'_1}{V_1}\right)^2}; \sin \varepsilon_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{V'_2}{V_2}\right)^2}. \quad (24)$$

Підставимо (22) та (24) в (21), отримаємо:

$$\sin \gamma = \frac{V'_2}{V_2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V'_1}{V_1}\right)^2} + \frac{V'_1}{V_1} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V'_2}{V_2}\right)^2}. \quad (25)$$

Знайдемо довжину хорди h для кута γ з бісектрисою в точці перехрестя відповідних дотичних. Для цього формуємо трикутники, які визначають зв'язок довжини хорди та відстані l : 1-2-4 та 1-4-3, з відповідними кутами (рисунок 5).

Довжина хорди h дорівнює:

$$h = 2R \cdot \sin \frac{\gamma}{2} = \Delta_{2-4} + \Delta_{3-4}. \quad (26)$$

Виразимо за допомогою відомих величин довжину Δ_{2-4} в трикутнику 1-2-4:

$$\Delta_{2-4} = \sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}} \cdot \cos \left(\beta + \frac{\gamma}{2} \right) = \sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}} \cdot \left(\cos \beta \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \sin \beta \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right). \quad (27)$$

Бачимо, що; $\cos \beta = \frac{a+c}{\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}}$; $\sin \beta = \frac{\bar{B}_a}{2\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}}$, тому (27) прийме вигляд:

$$\Delta_{2-4} = \sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}} \cdot \left(\frac{a+c}{\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{\bar{B}_a}{2\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right). \quad (28)$$

Виразимо також за допомогою відомих величин довжину Δ_{3-4} в трикутнику 1-4-2:

$$\begin{aligned} \Delta_{3-4} &= \sqrt{l^2 - \left[(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4} \right]} \cdot \sin^2 \left(\beta + \frac{\gamma}{2} \right) = \\ &= \sqrt{l^2 - \left[(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4} \right]} \cdot \left(\frac{\bar{B}_a}{2\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{a+c}{\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right)^2. \end{aligned} \quad (29)$$

Підставимо (28) та (29) в (26), отримаємо рівняння:

$$2R \cdot \sin \frac{\gamma}{2} = \sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}} \cdot \left(\frac{a+c}{\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{\bar{B}_a}{2\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right) + \sqrt{l^2 - \left[(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4} \right]} \cdot \left(\frac{\bar{B}_a}{2\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{a+c}{\sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right). \quad (30)$$

Для спрощення виразу (30) зробимо заміну $B = \sqrt{(a+c)^2 + \frac{\bar{B}_a^2}{4}}$, отримаємо:

$$2R \cdot \sin \frac{\gamma}{2} = B \left(\frac{a+c}{B} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right) + \sqrt{l^2 - B^2} \cdot \left(\frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{a+c}{B} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right). \quad (31)$$

Перетворимо (31) до вигляду:

$$\left[2R \cdot \sin \frac{\gamma}{2} - B \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right) \right]^2 = l^2 - B^2 \cdot \left(\frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{a+c}{B} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right)^2;$$

$$4R^2 \cdot \sin^2 \frac{\gamma}{2} - 4R \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \cdot B \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right) + B^2 \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right)^2 =$$

$$= l^2 - B^2 \cdot \left(\frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{a+c}{B} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \right)^2. \quad (32)$$

Використовуючи тригонометричні формули половинного кута та ступенів, перетворимо (32) до вигляду:

$$4R^2 \cdot \frac{1 - \cos \gamma}{2} - 4R \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos \gamma}{2}} \cdot B \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{2}} + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos \gamma}{2}} \right) + B^2 \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{2}} + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos \gamma}{2}} \right)^2 = l^2 - B^2 \cdot \left(\frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{2}} + \frac{a+c}{B} \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos \gamma}{2}} \right)^2. \quad (33)$$

Для спрощення рівняння (33) зробимо заміну:

$$D = \sqrt{\frac{1 - \cos \gamma}{2}}. \quad (34)$$

Враховуючи (34), (33) прийме вигляд:

$$4R^2 \cdot D^2 - 4R \cdot D \cdot B \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot D + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot D \right) + B^2 \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot D + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot D \right)^2 = l^2 - B^2 \cdot \left(\frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot D + \frac{a+c}{B} \cdot D \right)^2. \quad (35)$$

Перетворимо (35) до вигляду:

$$4R^2 \cdot D^2 - 4R \cdot D^2 \cdot B \cdot \frac{a+c}{B} - 4R^2 \cdot D^2 \cdot B \cdot \frac{\bar{B}_a}{2B} + 2B^2 \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot D + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot D \right)^2 = l^2. \quad (36)$$

Спростимо (36), отримаємо:

$$4R^2 \cdot D^2 - 4R \cdot D^2 \cdot (a+c) - 2\bar{B}_a \cdot R \cdot D^2 + 2B^2 \cdot \left(\frac{a+c}{B} \cdot D + \frac{\bar{B}_a}{2B} \cdot D \right)^2 = l^2. \quad (37)$$

$$l^2 = D^2 \cdot \left[4R^2 - 4R \cdot (a+c) - 2\bar{B}_a \cdot R + 2 \cdot (a+c)^2 + 2 \cdot (a+c) \cdot \bar{B}_a + \frac{\bar{B}_a^2}{2} \right]. \quad (38)$$

Виразимо з (38) D^2 , отримаємо:

$$D^2 = \frac{l^2}{\left[4R^2 - 4R \cdot (a+c) - 2\bar{B}_a \cdot R + 2 \cdot (a+c)^2 + 2 \cdot (a+c) \cdot \bar{B}_a + \frac{\bar{B}_a^2}{2} \right]}. \quad (39)$$

Приймаючи до уваги (34), (39) прийме вигляд:

$$\frac{1 - \cos \gamma}{2} = \frac{l^2}{\left[4R^2 - 4R \cdot (a+c) - 2\bar{B}_a \cdot R + 2 \cdot (a+c)^2 + 2 \cdot (a+c) \cdot \bar{B}_a + \frac{\bar{B}_a^2}{2} \right]}. \quad (40)$$

Перетворимо (40) до наступного вигляду:

$$\cos \gamma = 1 - \frac{2l^2}{\left[4R^2 - 4R \cdot (a+c) - 2\bar{B}_a \cdot R + 2 \cdot (a+c)^2 + 2 \cdot (a+c) \cdot \bar{B}_a + \frac{\bar{B}_a^2}{2} \right]}. \quad (41)$$

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2l^2}{\left[4R^2 - 4R \cdot (a+c) - 2\bar{B}_a \cdot R + 2 \cdot (a+c)^2 + 2 \cdot (a+c) \cdot \bar{B}_a + \frac{\bar{B}_a^2}{2} \right]} \right)^2}. \quad (42)$$

Зробимо заміну:

$$E = 1 - \frac{2l^2}{\left[4R^2 - 4R \cdot (a+c) - 2\bar{B}_a \cdot R + 2 \cdot (a+c)^2 + 2 \cdot (a+c) \cdot \bar{B}_a + \frac{\bar{B}_a^2}{2} \right]}. \quad (43)$$

Враховуючи (43), (42) прийме вигляд:

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - E}. \quad (44)$$

Прирівнявши (25) та (44), отримаємо:

$$\frac{V'_2}{V_2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V'_1}{V_1} \right)^2} + \frac{V'_1}{V_1} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V'_2}{V_2} \right)^2} = \sqrt{1 - E^2}. \quad (45)$$

В межах об'єкту та предмету дослідження розглянемо окремий випадок ударної взаємодії двох транспортних засобів при злитті потоків, коли відношення відповідних проекцій та векторів кількості руху двох транспортних засобів рівні, тобто:

$$\frac{V_1'}{V_1} = \frac{V_2'}{V_2} = K_3, \quad (46)$$

де K_3 – запропонований коефіцієнт тяжкості можливих ДТП при злитті (розділенні) траєкторій руху транспортних засобів, *од.*

Тоді можемо записати (45) у наступному вигляді:

$$2K_3 \cdot \sqrt{1 - K_3^2} = \sqrt{1 - E^2}. \quad (47)$$

$$K_3 = \sqrt{\frac{1}{2} \pm \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot E}. \quad (48)$$

Враховуючи (43), можемо записати:

$$K_3 = \sqrt{\frac{1}{2} \pm \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{2l^2}{\left[4R^2 - 4R \cdot (a+c) - 2\bar{B}_a \cdot R + 2 \cdot (a+c)^2 + 2 \cdot (a+c) \cdot \bar{B}_a + \frac{\bar{B}_a^2}{2}\right]}\right)}. \quad (49)$$

Вибір знаку відбувається згідно правила, що підкорінний вираз не може бути від'ємним.

З урахуванням розробленої методики розрахунку імовірної кількості ДТП на регульованому пересіченні за рік [8, 9] та запропонованих коефіцієнтів тяжкості ДТП (19), (49) загальна методика оцінки безпеки руху на пересіченні доріг в одному рівні зі світлофорним регулюванням має вигляд:

$$G = q_0 + K_n \cdot M_{t\Sigma} + N_{t\Sigma} \cdot 10^{-2} + \left[\sum_{i=1}^n \left(K_{П,3,Р} \cdot K_i \cdot \left(\frac{M_i}{0,076}\right) \cdot \left(\frac{N_i}{0,076}\right) \cdot \frac{25}{K_e} \cdot 10^{-7} \right) \right] \cdot \Delta t_{П} + \Delta t_{жс} + \sum_{i=1}^{n_{жс}} K_{П,3,Р} \cdot K_i \cdot \left(\frac{M_i^{жс}}{0,076}\right) \cdot \left(\frac{N_i^{жс}}{0,076}\right) \cdot \frac{25}{K_{Г}} \cdot 10^{-7}, \quad (50)$$

де $K_{П,3,Р}$ – коефіцієнт тяжкості ДТП i -тої конфліктної точки при пересіченні, злитті або розділенні траєкторій руху транспортних потоків (19), (49), *од.*

Помноження відповідних частин формули (50), які відповідають за кількість ДТП під час роботи світлофорного об'єкту в режимі програмного регулювання та в режимі жовтого миготіння, на коефіцієнт тяжкості ДТП i -тої конфліктної точки дозволить врахувати в загальній кількості ДТП за рік тяжкість ДТП. Іншими словами, це дозволить отримати кількість найбільш тяжких ДТП.

Висновки

Проведено вдосконалення методики розрахунку ймовірної кількості ДТП на перехрестях доріг в одному рівні зі світлофорним регулюванням щодо врахування можливої тяжкості ДТП.

Синтезовано моделі визначення коефіцієнтів тяжкості можливих ДТП при пересіченні, злитті та розділі траєкторій руху транспортних засобів на перехрестях доріг в одному рівні.

ні зі світлофорним регулюванням з урахуванням тяжкості ДТП. Надалі необхідно провести експериментальну перевірку методики оцінки безпеки руху на перехрестях доріг зі світлофорним регулюванням.

Список літератури

1. Собакарь А.О. Освітня діяльність у сфері безпеки дорожнього руху: проблеми та напрямки удосконалення системи підготовки водіїв // Вісник Луганського державного університету внутрішніх справ. – 2006. – №3. – С. 216 – 224.
2. Редзюк А.М. Концепція державної програми підвищення безпеки дорожнього руху / А.М. Редзюк // Автошляховик України. Окремий випуск. – 2007. – №10. – С. 3–8.
3. Зеркалов Д.В. Безпека руху автомобільного транспорту: довідник / Д.В. Зеркалов, П.Р. Левковец, О.І. Мельниченко, О.М. Дмитрієв. – К.: Основа, 2002. – 360 с.
4. Оцінка безпеки руху на перехрестях міського типу на одному рівні за режимами роботи світлофорного об'єкта / А.О. Литвин, О.М. Дудніков // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник. – Горлівка: АДІ ДонНТУ, 2008. – № 1(6).
5. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
6. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
7. Галаса П.В. Экспертний аналіз дорожньо-транспортних пригод / П.В. Галаса, В.Б. Кисельов, А.С. Куйбіда та ін. – К.: Експерт-Сервіс, 1995. – 193 с.
8. Литвин А.О. Експериментальна перевірка методики оцінки безпеки руху на пересіченнях міського типу на одному рівні за режимами роботи світлофорного об'єкта / А.О. Литвин, О.М. Дудніков // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник. – Горлівка: АДІ ДонНТУ, 2008. – № 2(7). – С. 63 – 69.

Рецензент к.е.н., доц. Т.Є. Василенко, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 11.10.11

© Дудніков О.М., Сніцаренко К.С., Пелих А.В. 2011