



• © О.М. Дудніков, канд. техн. наук, доцент (АДІ ДонНТУ)

ФОРМАЛІЗАЦІЯ УМОВ ДТП У ВИГЛЯДІ ПОБІЖНОГО ЗІТКНЕННЯ ПРИ ЗМІНІ СМУГИ РУХУ З ПРАВОЇ НА ЛІВУ У БАГАТОРЯДНИХ ЩІЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКАХ

Анотація. Присвячено проблемі підвищення безпеки руху на ділянках доріг із багаторядним щільним рухом. Формалізовано умови виникнення дорожньо-транспортних пригод при виконанні транспортним засобом маневру зміни смуги руху з правої на ліву. Синтезована математична модель умов, при виконанні якої, вказані пригоди найбільш вірогідні.

Ключові слова: потік транспортний, безпека дорожнього руху, пригода дорожньо-транспортна.

Аннотация. Посвящено проблеме повышения безопасности движения на участках дорог с многорядным плотным движением. Формализованы условия возникновения дорожно-транспортных происшествий при выполнении транспортным средством маневра смены полосы движения с правой на левую. Синтезирована математическая модель условий, при выполнении которой, указанные происшествия наиболее вероятны.

Ключевые слова: поток транспортный, безопасность дорожного движения, происшествие дорожно-транспортное.

Annotation. Work is devoted to a problem of increase of traffic safety on sites of roads with multirow dense movement. Conditions of emergence of road accidents are formalized when performing by the vehicle of maneuver of change of a lane on the left strip. The mathematical model of conditions at which performance, the specified incidents are most probable is synthesized.

Keywords: traffic flow, traffic safety, traffic accident.

Вступ

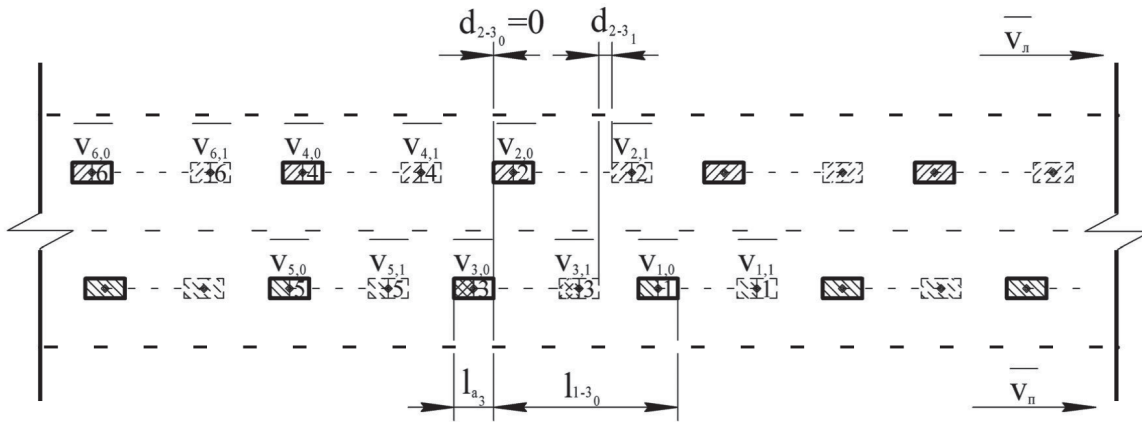
В Україні протягом останніх десяти років щорічно спостерігається коливання загальної кількості ДТП в межах 27...38 тис., в яких гине біля 4...6 тис. осіб та отримує травми – 30...45 тис. осіб. Відносна кількість ДТП порівняно з країнами ЄС в Україні в 4...10 разів більша [1]. Особливо важливим для України є дотримання безпеки руху на міжнародних та національних дорогах шляхом розробки відповідних теоретичних основ та практичних методів для умов руху багаторядних щільних транспортних потоків.

У роботі пропонується вирішити одне із завдань вказаної проблеми у вигляді формалізації здійснення ДТП у разі побіжного зіткнення транспортних засо-

бів при зміні смуги руху з правої на ліву в умовах багаторядних щільних транспортних потоків.

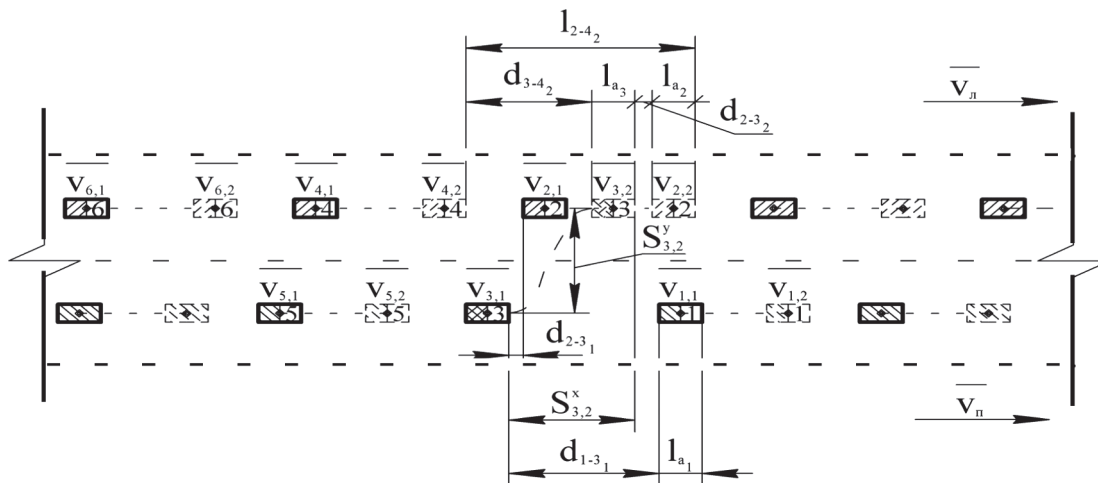
Основна частина

Для знаходження характеристик транспортного потоку в умовах виникнення побіжного зіткнення під час виконання маневру зміни смуги руху транспортним засобом (далі – ТЗ) №3 з правої на ліву розглянемо **рис. 1-3**. На момент зіткнення t_4^{n-l} відстань між ТЗ №3 та №4 d_{3-4} дорівнює нулю. Від часу закінчення виконання маневру t_2^{n-l} і до моменту зіткнення ТЗ №3 та №4 встигають проїхати лівою смугою відповідно $S_{3,3}$ та $S_{4,3}$ метрів за відповідний проміжок часу t_{2-3}^{n-l} .



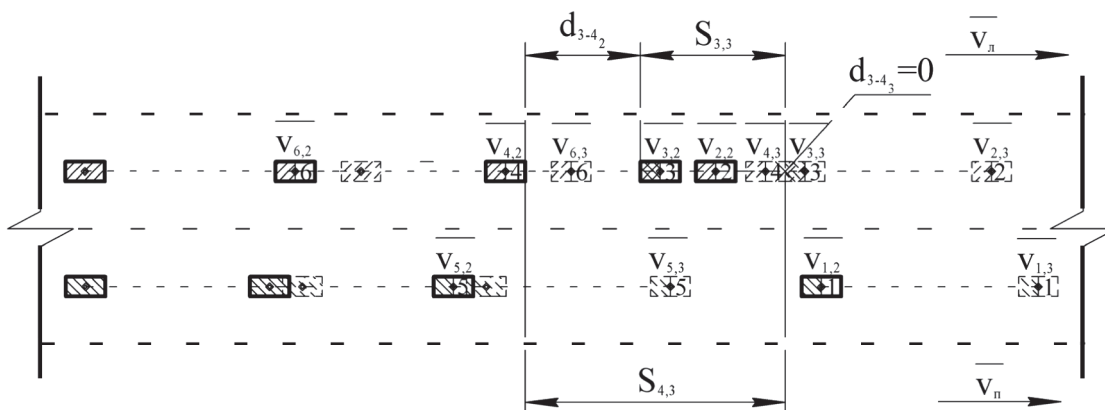
- місцезнаходження k-го ТЗ на момент початку прискорення ТЗ №3 з метою зміни смуги руху $t_0^{\Pi-L}$;
- місцезнаходження k-го ТЗ на момент початку виконання маневру зміни смуги руху ТЗ №3 $t_1^{\Pi-L}$.

Рис. 1. Схема зміни положень ТЗ за час руху ТЗ №3 правою смугою від початку прискорення з метою зміни смуги руху на ліву до початку виконання маневру $t_{0-1}^{\Pi-L}$



- місцезнаходження k-го ТЗ на момент початку виконання маневру зміни смуги руху ТЗ №3 $t_1^{\Pi-L}$;
- місцезнаходження k-го ТЗ на момент закінчення виконання маневру зміни смуги ТЗ №3 $t_2^{\Pi-L}$.

Рис. 2. Схема зміни положень ТЗ за час виконання ТЗ №3 маневру зміни смуги руху з правої на ліву $t_{1-2}^{\Pi-L}$, геометрична конфліктна ситуація



- місцезнаходження k-го ТЗ на момент закінчення виконання маневру зміни смуги ТЗ №3 $t_2^{\Pi-L}$;
- місцезнаходження k-го ТЗ на момент зіткнення ТЗ №3 та ТЗ №4 $t_3^{\Pi-L}$.

Рис. 3. Схема зміни положень ТЗ за час руху ТЗ №3 лівою смугою до моменту зіткнення $t_{2-3}^{\Pi-L}$ передаварійна та аварійна конфліктні ситуації



Дистанція між ТЗ №3 та №4 на момент появи ТЗ №3 на лівій смузі (рис. 3): $d_{3-4_2} = S_{4,3} - S_{3,3}$, м; $S_{4,3}$ – шлях, що пройшов ТЗ №4, застосувавши екстрене гальмування, за відрізок часу $t_{2-3}^{п-л}$, м; $S_{3,3}$ – шлях, що пройшов ТЗ №3, за відрізок часу $t_{2-3}^{п-л}$, м. Приймаємо, що після зміни смугу руху ТЗ №3 опиниться в інтервалі швидкостей $V_{4,2} > V_{3,2} > V_{5,2}$ і продовжуватиме рух до моменту зіткнення з постійним прискоренням a_3 . Таким чином, шлях пройдений ТЗ №3 лівою смугою до зіткнення, складатиме:

$$S_{3,3} = \frac{(V_{3,3})^2 - (V_{3,2})^2}{2 \cdot a_3}, \text{ м}, \quad (1)$$

де $V_{3,3}$ – швидкість руху ТЗ №3 на момент зіткнення з ТЗ №4 $t_3^{п-л}$, м/с; $V_{3,2}$ – швидкість руху ТЗ №3 на момент часу $t_2^{п-л}$, м/с; a_3 – прискорення ТЗ №3, м/с²; $a_3 = \text{const}$ (залежно від типу ТЗ).

Припускаємо, що побачивши попереду появу ТЗ №3, водій ТЗ №4 застосував екстрене гальмування з метою уникнення ДТП. Пройдений ТЗ №4 на лівій смузі шлях за час $t_{2-3}^{п-л}$ запишемо як:

$$S_{4,3} = (t_{4,p} + t_{4,c} + 0,5 \cdot t_{4,n}) \cdot V_{4,2} + \frac{(V_{4,2})^2 - (V_{4,3})^2}{2 \cdot j_4}, \text{ м}, \quad (2)$$

де $t_{4,p}$ – час реакції водія ТЗ №4, с; $t_{4,c}$ – час спрацьовування гальмівної системи ТЗ №4, с; $t_{4,n}$ – час наростання сповільнення ТЗ №4, с; $V_{4,2}$ – швидкість руху ТЗ №4 на момент часу $t_2^{п-л}$, м/с; $V_{4,3}$ – швидкість руху ТЗ №4 на момент часу $t_3^{п-л}$, м/с; j_4 – максимальне сповільнення ТЗ №4, м/с² [2]; $j_4 = \varphi_x \cdot g$, м/с²; φ_x – коефіцієнт повздовжнього зчеплення коліс ТЗ з дорожнім покриттям, од.; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Обов'язковою умовою зіткнення є різниця швидкостей руху ТЗ №3 та №4 ($V_{4,3} \geq V_{3,3}$). Очевидно, чим більшою є ця різниця, тим раніше відбудеться зіткнення після зміни смуги руху ТЗ №3: $V_{4,3} = V_{3,3} = V_n$. З урахуванням (1), (2) запишемо:

$$d_{3-4_2} = (t_{4,p} + t_{4,c} + 0,5 \cdot t_{4,n}) \cdot V_{4,2} + \frac{(V_{4,2})^2 - (V_n)^2}{2 \cdot \varphi_x \cdot g} - \frac{(V_n)^2 - (V_{3,2})^2}{2 \cdot a_3}, \quad (3)$$

На момент часу $t_2^{п-л}$ дистанція між ТЗ №2 та №3 на лівій смузі, як видно з (рис. 2) та з урахуванням (3), складатиме:

$$d_{2-3_2} = l_{2-4_2} - l_{a_2} - l_{a_3} - d_{3-4_2} = l_{2-4_2} - l_{a_2} - l_{a_3} - (t_p + t_c + 0,5 \cdot t_n) \cdot V_{4,2} + \frac{(V_{4,2})^2 - (V_n)^2}{2 \cdot \varphi_x \cdot g} - \frac{(V_n)^2 - (V_{3,2})^2}{2 \cdot a_3}, \text{ м}, \quad (4)$$

де l_{2-4_2} – інтервал у просторі між ТЗ №2 та №4, що склався на момент часу $t_2^{п-л}$, м; l_{a_2} – довжина ТЗ №2, м; l_{a_3} – довжина ТЗ №3, м.

Дистанцію d_{2-3_2} можна також визначити враховуючи різницю пройденого шляху ТЗ №2 та №3 за відрізок часу $t_{1-2}^{п-л}$ (рис. 2): $d_{2-3_2} = d_{2-3_1} - S_{3,2}^x + S_{2,2}$, м; $S_{2,2}$ – шлях, що пройшов ТЗ №2, за відрізок часу $t_{1-2}^{п-л}$, м; d_{2-3_1} – відстань між ТЗ №2 та №3 відносно повздовжнього профілю дороги, що складалася на момент часу $t_2^{п-л}$, м; $S_{3,2}^x$ – повздовжнє зміщення ТЗ №3 при зміні смуги руху за відрізок часу $t_{1-2}^{п-л}$, м; $S_{2,2}$ – шлях, що пройшов ТЗ №2, за відрізок часу $t_{1-2}^{п-л}$, м: $S_{2,2} = V_{2,2} \cdot t_{1-2}^{п-л}$, м; $V_{2,2}$ – швидкість руху ТЗ №2 у відрітку часу $t_{1-2}^{п-л}$, м/с; $t_{1-2}^{п-л}$ – час виконання маневру зміни смуги руху з правої на ліву ТЗ №3, с. У попередніх формулах невідомими є величини $t_{1-2}^{п-л}$, d_{2-3_1} та $S_{3,2}^x$. Враховуючи підвищену небезпеку зміни смуги руху в умовах багаторядних транспортних потоків, вважатимемо, що водій ТЗ №3 під час виконання маневру зміни смуги рухатиметься з постійною швидкістю $V_{3,1} = V_{3,2}$. Повздовжнє зміщення ТЗ №3 $S_{3,2}^x$: $S_{3,2}^x = V_{3,2} \cdot t_{1-2}^{п-л}$, м. Значення $t_{1-2}^{п-л}$ та $V_{3,2}$ залишаються невідомими. Поперечне зміщення ТЗ №3 $S_{3,2}^y$ за відрізок часу $t_{2-3}^{п-л}$ [2]:

$$S_{3,2}^y = \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (S_{3,2}^x)^2}{8 \cdot (V_{3,2})^2}, \text{ м}, \quad S_{3,2}^y = B_{\Pi}, \text{ м},$$

$$S_{3,2}^x = V_{3,2} \cdot \left(\frac{8 \cdot B_{\Pi}}{g \cdot \varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ м}, \quad (5)$$

де φ_y – коефіцієнт поперечного зчеплення колеса, од.;



Значення $t_{1-2}^{п-л}$ виразимо з урахуванням (5):

$$t_{1-2}^{п-л} = \frac{S_{3,2}^x \cdot k_M}{V_{3,2}} = \left(\frac{8 \cdot B_{п} \cdot k_M^2}{g \cdot \phi_y} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ с.} \quad (6)$$

де k_M – коефіцієнт маневру за [2]:
 $k_M = 1,12 + 0,005 \cdot V_{3,2}$.

Відстань між ТЗ №2 та №3 d_{2-3_1} виразимо (рис. 2):

$$\begin{aligned} d_{2-3_1} &= d_{2-3_2} - V_{2,2} \cdot t_{1-2}^{п-л} + S_{3,2}^x = \\ &= l_{2-4_2} - l_{a_2} - l_{a_3} - (t_{4,p} + t_{4,c} + 0,5 \cdot t_{4,h}) \cdot V_{4,2} + \\ &+ \frac{(V_{4,2})^2 - (V_H)^2}{2 \cdot \phi_x \cdot g} - \frac{(V_H)^2 - (V_{3,2})^2}{2 \cdot a_3} - \\ &- V_{2,2} \cdot \left(\frac{8 \cdot B_{п} \cdot k_M^2}{g \cdot \phi_y} \right)^{\frac{1}{2}} + V_{3,2} \cdot \left(\frac{8 \cdot B_{п}}{g \cdot \phi_y} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ м.} \end{aligned} \quad (7)$$

Дистанцію між ТЗ №2 та №3 d_{2-3_1} можна також виразити через різницю відстаней, що пройшли зазначені ТЗ за час $t_{0-1}^{п-л}$ (рис. 1):
 $d_{2-3_1} = S_{2,1} - S_{3,1}$, м; $S_{2,1}$ – шлях, що пройшов ТЗ №2 за відрізок часу $t_{0-1}^{п-л}$, м: $S_{2,1} = V_{2,1} \cdot t_{0-1}^{п-л}$, м; $V_{2,1}$ – швидкість руху ТЗ №2 за відповідний відрізок часу $t_{0-1}^{п-л}$, м/с; $S_{3,1}$ – шлях, що пройшов ТЗ №3 за відрізок часу $t_{0-1}^{п-л}$, м: $S_{3,1} = \frac{(V_{3,1})^2 - (V_{3,0})^2}{2 \cdot a_3}$, м; $V_{3,1}$ – швидкість ТЗ №3 на момент часу $t_1^{п-л}$, м/с; $V_{3,0}$ – швидкість ТЗ №3 з часу $t_0^{п-л}$, м/с.

Проаналізувавши рух ТЗ №3 та №5 бачимо, що приріст відстані S_p , яку пройшов ТЗ №3 за відрізок часу $t_{0-1}^{п-л}$ рухаючись з постійним прискоренням a_3 , дорівнює різниці у відстанях, що пройшли ТЗ №3 та №5 за цей відрізок часу (рис. 2): $S_p = S_{3,1} - S_{5,1}$, м; $S_{5,1}$ – шлях, що пройшов ТЗ №5 за відрізок часу $t_{0-1}^{п-л}$, м: $S_{5,1} = V_{5,0} \cdot t_{0-1}^{п-л}$, м, $V_{5,0}$ – швидкість руху ТЗ №5 за відрізок часу $t_{0-1}^{п-л}$, м/с; $t_{0-1}^{п-л}$ – час руху ТЗ №3 правою смугою від моменту початку прискорення до моменту виконання маневру перешикування, с. Відстань S_p :

$$S_p = l_{1-3_0} - l_{1-3_1} = l_{1-3_0} - l_{a_1} - d_{1-3_1}, \text{ м,} \quad (8)$$

де l_{1-3_0} – інтервал у просторі між ТЗ №1 та №3, що існував на момент початку розгляду ситуації

$t_0^{п-л}$, м; l_{1-3_1} – інтервал у просторі між ТЗ №1 та №3, що склалася на момент початку зміни смуги руху $t_1^{п-л}$, м; l_{a_1} – довжина ТЗ №1, м; d_{1-3_1} – дистанція між ТЗ №1 та №3, що склалася на момент початку зміни смуги руху $t_1^{п-л}$, м.

Дистанцію, що у момент часу $t_1^{п-л}$ склалася між ТЗ №1 та №3 d_{1-3_1} знайдемо з умови, що вирівнювання швидкостей ТЗ, який здійснює обгін, та ТЗ, якого обганяють, відбувається на певній відстані d_{1-3_1} , яку можна визначити за формулою з [3]:

$$d_{1-3_1} = 6,5 \cdot e^{0,09 \cdot V_{св}}, \text{ м,} \quad (9)$$

де $V_{св}$ – швидкість вільного руху, м/с; приймаємо $V_{св} = V_{1,1}$.

Отримаємо значення часу руху ТЗ №3 правою смугою від початку прискорення з метою зміни смуги руху до початку виконання маневру $t_{0-1}^{п-л}$:

$$\begin{aligned} t_{0-1}^{п-л} &= \frac{1}{V_{5,0}} \cdot \left(\frac{(V_{3,1})^2 - (V_{3,0})^2}{2 \cdot a_3} - S_p \right) = \\ &= \frac{1}{V_{5,0}} \cdot \left(\frac{(V_{3,1})^2 - (V_{3,0})^2}{2 \cdot a_3} - l_{1-3_0} - l_{a_1} - d_{1-3_1} \right) = \\ &= \frac{1}{V_{5,0}} \cdot \left(\frac{(V_{3,1})^2 - (V_{3,0})^2}{2 \cdot a_3} - l_{1-3_0} - l_{a_1} - 6,5 \cdot e^{0,09 \cdot V_{1,1}} \right), \text{ с.} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} d_{2-3_1} &= \frac{V_{2,1}}{V_{5,0}} \cdot \left(\frac{(V_{3,1})^2 - (V_{3,0})^2}{2 \cdot a_3} - l_{1-3_0} - l_{a_1} - 6,5 \cdot e^{0,09 \cdot V_{1,1}} \right) - \\ &- \frac{(V_{3,1})^2 - (V_{3,0})^2}{2 \cdot a_3}, \text{ м.} \end{aligned} \quad (11)$$

Швидкість ТЗ №3 на момент закінчення маневру зміни смуги руху $t_2^{п-л}$ знайдемо за різницею швидкостей у момент зіткнення ТЗ №3 та №4 до її нарошення за час руху ТЗ №3 лівою смугою магістралі до зіткнення $t_3^{п-л}$: $V_{3,2} = V_{3,1} - a_3 \cdot t_{2-3}^{п-л}$, м/с; $t_{2-3}^{п-л}$ – час руху ТЗ №3 лівою смугою до зіткнення із ТЗ №4, с. Описуючи процес екстреного гальмування ТЗ №4 при появі на лівій смузі ТЗ №3, отримуємо значення часу $t_{2-3}^{п-л}$:

$$t_{2-3}^{п-л} = (t_{4,p} + t_{4,c} + 0,5 \cdot t_{4,h}) + \frac{V_{4,2} - V_H}{2 \cdot \phi_x \cdot g}, \text{ с.} \quad \text{Врахо-$$

вуючи отримаємо:

$$V_{3,2} = V_{3,1} - a_3 \cdot \left(t_{4,p} + t_{4,c} + 0,5 \cdot t_{4,h} + \frac{V_{4,2} - V_H}{2 \cdot \phi_x \cdot g} \right), \text{ м/с.} \quad (12)$$



З урахуванням (12) та порівнянням (11) та (7) умова реалізації ДТП при зміні смуги на ліву смугу в умовах багаторядних щільних транспортних потоків буде мати вигляд з усередненими значеннями швидкостей, дистанцій, значень часу реакції водіїв за правою та лівою смугами зі значеннями відповідних середніх квадратичних відхилень:

$$\frac{\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n}}{\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n}} \left[\frac{\left[V_n - \bar{a} \cdot \left(\bar{t} + \frac{(\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n}) - V_n}{2 \cdot \varphi_x \cdot g} \right) \right]^2 - (\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n})^2}{2 \cdot \bar{a}} - (\bar{I}_n \pm \sigma_{I_n}) - (\bar{I}_{ан} \pm \sigma_{I_{ан}}) - 6,5 \cdot e^{0,001(\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n})} \right] - \left[\frac{\left[V_n - \bar{a} \cdot \left(\bar{t} + \frac{(\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n}) - V_n}{2 \cdot \varphi_x \cdot g} \right) \right]^2 - (\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n})^2}{2 \cdot \bar{a}} - (\bar{I}_n \pm \sigma_{I_n}) - (\bar{I}_{ан} \pm \sigma_{I_{ан}}) - (\bar{I}_{ан} \pm \sigma_{I_{ан}}) \right] - \bar{t} \cdot (\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n}) + \frac{(\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n})^2 - (V_n)^2}{2 \cdot \varphi_x \cdot g} - \frac{(V_n)^2 - \left[V_n - \bar{a} \cdot \left(\bar{t} + \frac{(\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n}) - V_n}{2 \cdot \varphi_x \cdot g} \right) \right]^2}{2 \cdot \bar{a}} - (\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n}) \cdot \left(\frac{10,22 \cdot B_n}{g \cdot \varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}} + \left[V_n - \bar{a} \cdot \left(\bar{t} + \frac{(\bar{V}_n \pm \sigma_{v_n}) - V_n}{2 \cdot \varphi_x \cdot g} \right) \right] \cdot \left(\frac{8 \cdot B_n}{g \cdot \varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Висновки

У роботі формалізовано графічну модель виникнення побіжного зіткнення на лівій смузі руху, відносно до початку виконання маневру зміни смуги руху з правої на ліву, ділянки дороги з багаторядним щільним транспортним потоком.

Отримані залежності та синтезована математична модель у вигляді умов виникнення ДТП під час виконання маневру зміни смуги руху з правої на ліву, дасть змогу проводити подальші дослідження на предмет синтезу методу та відповідної методики попередження синтезованої умови та дотримання безпеки руху багаторядних щільних транспортних потоків.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Національна доповідь** про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році.
2. **Домке Э.Р.** Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Э.Р. Домке. — М.: Издательский центр “Академия”, 2009. — 288 с.
3. **Сильянов В.В.** Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. — М.: Транспорт, 1977. — 303 с.

ДЛЯ УКРАЇНСЬКИХ ТА БОЛГАРСЬКИХ МІЖНАРОДНИХ АВТОПЕРЕВІЗНИКІВ ЗБІЛЬШЕНО КВОТУ ДОЗВОЛІВ НА 2013 РІК

Україна та Болгарія узгодили остаточний контингент дозволів на 2013 рік, збільшивши попередньо встановлену квоту на 2000 універсальних дозволів категорії Євро-1 без сплати дорожніх зборів та 300 дозволів для перевезення вантажів в/з третіх країн без оплати дорожніх зборів. Таке рішення сторони прийняли під час чергового засідання Змішаної українсько-болгарської Комісії з питань міжнародних автомобільних перевезень, що відбулося на початку червня у Києві.

Під час засідання було відзначено тенденцію зростання товарообороту між Болгарією та Україною, що у результаті призводить до збільшення обсягів перевезень, які здійснюють перевізники обох країн. Відтак попередній контингент дозволів на 2014 рік встановлено на рівні остаточного контингенту на 2013 рік.

Окрім цього, за інформацією учасників засідання, зростають обсяги перевезень пасажирів у регулярному та нерегулярному автобусному сполученні між Україною та Болгарією. Тож сторони підтвердили свої наміри і готовність сприяти подальшому розвитку перевезень пасажирів в регулярному та нерегулярному сполученні між країнами.

А для повного забезпечення попиту на перевезення пасажирів у літній період збільшено квоту для виконання нерегулярних перевезень пасажирів без сплати дорожніх зборів на 1500 дозволів.

Також учасники засідання обох країн підтвердили порядок використання універсальних дозволів, а саме: “Універсальний дозвіл на виконання вантажних перевезень (без урахування категорії екологічності) дає право виконувати двостороннє або транзитне перевезення, а також їх комбінацію в прямому та зворотному напрямках”.

Дозволи усіх категорій на поточний рік дійсні до 31 січня наступного року.

За матеріалами www.mtu.gov.ua