

*Синтезовано характеристики нерівномірності руху транспортного потоку відносно транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту, які дозволяють оцінювати безпеку руху*

*Ключові слова: потік транспортний, транспорт пасажирський, синтез*

*Синтезовані характеристики нерівномірності руху транспортного потоку відносно транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту, котрі дозволяють оцінювати безпеку руху*

*Ключевые слова: поток транспортный, транспорт пассажирский, синтез*

*The characteristics of non-uniformity of traffic flow relative to traffic flow of the passenger route transport, which allow to estimate safety of traffic, are synthesized*

*Keywords: traffic flow, passenger transport, synthesis*

# ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗПЕКИ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ ПАСАЖИРСЬКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ

**С. Ю. Попов**

Аспірант

Кафедра «Транспортні технології»

Автомобільно-дорожній інститут «Донецький національний технічний університет»

вул. Кірова, 51, м. Горлівка, Донецька область, 84637

Контактний тел.: 066-398-63-99

E-mail: sporov@i.ua

## Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішується

За даними Світової Організації охорони здоров'я в результаті ДТП щорічно гине 1,2 млн. осіб і 50 млн. отримують поранення [1]. На території України за статистичними даними протягом 2007 року було скоєно 277480 ДТП в них 9481 осіб загинуло та 77893 осіб травмовано [1]. З загальної кількості вказаних ДТП-172 особи загинули та 1559 осіб травмовано приходить на пасажирський маршрутний транспорт. Рух пасажирського маршрутного транспорту можна поділити на рух міськими дорогами та рух на замських дорогах. За межами міст транспортні засоби здійснюють рух дорогами I та II категорії, що складає 16 км та 8600 км відповідно [1]. Дороги I категорії зустрічаються тільки 16 км [1]. Рух маршрутного транспорту на замських дорогах здійснюється здебільшого дорогами II категорії та не супроводжується значною кількістю конфліктних зон, як у містах, у вигляді пішохідних переходів, пересічень в одному рівні, зон руху велосипедистів та ін.

З'ясовано, що кількість ДТП з пасажирськими маршрутними транспортними засобами на дорогах другої категорії складає 8% від загальної кількості ДТП на вказаних дорогах. Доля маршрутного транспорту в транспортному потоці, який рухається ділянкою дороги другої категорії, складає 9% [1]. Для такої кількості пасажирського маршрутного транспорту в транспортному потоці відсоток ДТП є дуже значними. Кількість постраждалих та загинулих на одне ДТП суттєво відрізняється в більшу сторону від ДТП з іншими типами рухомого складу автомобільного транспорту, ДТП з вказаними транспортними засобами на дорогах

другої технічної категорії мають максимальну тяжкість, яка за сучасними дослідженнями викликану значними швидкостями руху. Вищенаведене вказує на актуальність обраного напрямку наукового дослідження.

## Аналіз останніх досліджень

Авторами були проаналізовані сучасні вимоги до складення паспортів маршрутів та до розрахункових методик організації руху транспорту на маршруті [2]. Встановлено, що безпека руху пасажирського маршрутного транспорту враховується тільки при організації маршруту, та вноситься у паспорт маршруту. Наведена в паспорті маршруту інформація стосується наявних залізничних переїздів та місць концентрації ДТП, які зображені на схемі маршруту та показані у вигляді переліку.

Методики розрахунку ступеня небезпеки або методики організації маршруту яка враховувала би рівень безпеки зараз не існує. У роботах [3,4] синтезована група характеристик на макроскопічному, мікроскопічному та інженерно-психологічному рівнях взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на ділянці дороги другої категорії, що буде обрано у якості основи синтезу критеріїв оцінки безпеки руху у даній роботі.

## Основна частина

Безпека руху – характеристика дорожнього руху, що виражається аварійністю. З вказаного поняття ви-

пливає необхідність пошуку формалізованого зв'язку синтезованих у попередніх роботах [3,4] характеристик нерівномірності відносного руху транспортного потоку відносно транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту з характеристиками аварійності або узагальненими випадками ДТП.

Послідовно розглянемо кожну з розроблених характеристик та з'ясуємо який бік процесу виникнення та відбуття ДТП вона досить об'єктивно відображає, що надалі дозволить об'єктивно сформулювати відповідний узагальнений критерій.

З початку розглянемо характеристики нерівномірності відносного руху транспортного потоку відносно транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту для макрорівня. Відхилення інтенсивності руху, сприяє обгонам та змінам смуги руху, інтенсивному маневруванню, пропонується записувати наступним чином:

$$\sigma_N^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( N_i - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{I_i} \right) \right)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{t_i} - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{I_i} \right) \right)^2, \quad (1)$$

де  $\sigma_N$  - середнє квадратичне відхилення інтенсивності транспортного потоку від інтенсивності транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту у певному перетині дороги, авт./с;

$n$  - кількість спостережень значень інтенсивності руху транспортного потоку у певному перетині дороги, од.;

$m$  - кількість маршрутів, що пролягають через досліджувану ділянку дороги, од.;

$N_i$  -  $i$ -е значення інтенсивності руху транспортного потоку у певному перетині дороги, авт./с;

$\delta_i$  - відсоток пасажирських маршрутних транспортних засобів  $i$ -го маршруту у загальному складі транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту, од.;

$I_i$  - інтервал руху пасажирських маршрутних транспортних засобів  $i$ -го маршруту у загальному складі транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту, с;

$t_i$  - часовий інтервал руху між транспортними засобами транспортного потоку на ділянці дороги визначеної довжини, с.

Числове значення (1) наближується до нуля в умовах рівності інтенсивностей руху відповідних транспортних потоків. На практиці вказана рівність не можлива бо інтенсивність транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту суттєво менше загальної інтенсивності руху, тому середнє квадратичне відхилення інтенсивностей потоків буде мати певне значення.

Значення (1) розкриває співвідношення між часовими інтервалами руху в транспортному потоці й у транспортному потоці пасажирського маршрутного транспорту. З погляду безпеки руху інтервали руху у часі між транспортними засобами повинні дозволити послідовний рух з мінімальними змінами смуг руху та з мінімальними обгонами.

Послідовність руху сумісного транспортного потоку, який додатково у свій склад приймає пасажирські маршрутні транспортні засоби, можливо забезпечити, якщо буде виконуватися умова кратності інтервалів

руху всіх транспортних засобів мініальному інтервалу, що спостерігається у транспортному потоці.

Вказану вимогу кратності інтервалів досліджували вчені у [5] на предмет її застосування на сумісних ділянках маршрутів на вулицях міст. Отримані результати вимагали наступного. При проектуванні маршрутів та проведенні відповідних розрахунків до уваги необхідно брати всі маршрути, що присутні на відповідних ділянках доріг, серед яких необхідно обрати мінімальний та прийняти його у якості еталону відносно якого всі інші інтервали руху приводяться до відповідної кратності. При суміщенні руху відповідних маршрутних транспортних засобів формується рух з мінімальним інтервалом, що дорівнює половині прийнятого за еталон. Забезпечення кратності інтервалів досягається додаванням або виключенням певної кількості автобусів з маршруту.

Пропонується вказані розробки застосовувати для транспортних засобів транспортного потоку пасажирських маршрутних транспортних засобів, що дозволить виключити обгони в межах вказаного потоку.

Рух транспортного потоку на ділянці дороги визначеної довжини формується у природних умовах та інтервали руху мають різні значення, які змінюються у просторі та часі. Їх мінливість супроводжується відповідною мінливістю інтенсивності руху за часом. Вказані особливості транспортного потоку не дозволяють виконати відповідні дії щодо забезпечення послідовного руху шляхом забезпечення відповідної кратності інтервалів руху.

Але є можливість зменшення вказаних відхилень шляхом наближення значення середнього інтервалу руху у транспортному потоці пасажирського маршрутного транспорту до кратності середньому інтервалу руху у транспортному потоці:

$$\bar{I} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot I_i, \quad \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (2)$$

$$\frac{\bar{I}}{\bar{t}} = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot I_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{\sum_{i=1}^m \delta_i \cdot I_i}{m \cdot \sum_{i=1}^n t_i} \rightarrow Z, \quad (3)$$

де  $\bar{I}$  - середній арифметичний інтервал руху у транспортному потоці пасажирського маршрутного транспорту, с;

$\bar{t}$  - середній арифметичний інтервал руху у транспортному потоці, с;

$Z$  - множина цілих цифр, що забезпечує наявність відповідної кратності.

З урахуванням (2) та (3) можливо записати значення середнє квадратичне відхилення інтенсивності транспортного потоку від інтенсивності транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту яке буде відповідати потоку з мінімальною кількістю обгонів:

$$(\sigma_N^2)_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{t_i} - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{\bar{I}} \right) \right)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{t_i} - \frac{1}{\bar{I}} \right)^2 = \left( \frac{1}{\bar{t}} - \frac{1}{\bar{I}} \right)^2, \quad (4)$$

$$(\sigma_N^2)_0 = \frac{1}{\bar{t}^2} \cdot \left( 1 - \frac{1}{Z} \right)^2, \quad (5)$$

де  $(\sigma_N)_0$  - середнє квадратичне відхилення інтенсивності транспортного потоку від інтенсивності транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту яке буде відповідати потоку з мінімальною кількістю обгонів, авт./с.

Значення (5) у сукупності з (1) уособлює характеристику безпеки сучасного руху потоків, що пропорційна зміні кількості ДТП у вигляді бічних зіткнень транспортних засобів при виконанні маневрів обгону та зміни смуги руху у транспортному потоці, де наявні пасажирські маршрутні транспортні засоби:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_N^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{t_i} - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{l_i} \right) \right)^2, \\ (\sigma_N^2)_0 &= \frac{1}{t^2} \cdot \left( 1 - \frac{1}{Z} \right)^2, \\ \sigma_N^2 &\neq (\sigma_N^2)_0. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

Відхилення швидкості руху, також сприяє обгонам та змінам смуги руху, інтенсивному маневруванню, обумовлює швидке зростання або скорочення дистанцій між транспортними засобами, запис для проведення підрахунків та подальших досліджень буде мати наступний вигляд:

$$\sigma_{v_n}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( v_{ni} - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \right) \right)^2. \quad (7)$$

де  $\sigma_{v_n}$  - середнє квадратичне відхилення швидкості транспортного потоку від швидкості транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту у певному перетині дороги або на ділянці дороги визначеної довжини, м/с;

n - кількість спостережень значень швидкості руху транспортного потоку у певному перетині або на ділянці дороги визначеної довжини, од.;

$v_{ni}$  - i-е значення швидкості руху транспортного потоку у певному перетині або на ділянці дороги визначеної довжини, авт./с;

$v_{m_i}$  - технічна швидкість пасажирських маршрутних транспортних засобів, що рухають по i-тому маршруту, м/с.

Значення швидкостей руху транспортних засобів у сукупності на ділянці дороги, що визначає транспортний потік, повинні наближатися одне до одного. Дорожньо-транспортна ситуація, де неможливе ДТП у вигляді зіткнення або наїзду, спостерігається коли швидкості транспортних засобів рівні, тобто транспортні засоби їдуть з однаковими незмінними інтервалами руху у часі та просторі.

У вказаному випадку виключаються обгони, маневри зміни смуги руху, маневри розгону та гальмування поодиноких транспортних засобів.

Для попередження ДТП водій повинен мати відповідний час на реакцію та виконання відповідного маневру щодо зміни траєкторії руху перед маршрутним транспортним засобом, що наближається.

Швидкість наближення дорівнює різниці швидкості відповідних транспортних засобів:

$$v_{ni} = \frac{l_i}{t_i},$$

$$t_{ni} = \frac{l_i}{v_{ni} - v_{m_i}} = \frac{l_i}{\Delta v_i} > t_{p_i} + t_{m_i},$$

де  $t_{ni}$  - час наближення транспортних засобів при наявності відповідної різниці швидкості, с;

$l_i$  - значення інтервалу руху у просторі між транспортним засобом транспортного потоку та транспортним засобом пасажирського маршрутного транспорту, м;

$\Delta v_i$  - різниця швидкостей руху між транспортним засобом транспортного потоку та транспортним засобом пасажирського маршрутного транспорту, що рухають послідовно один за другим, м/с;

$t_{p_i}$  - час реакції водія транспортного засобу, що рухається другим, на його наближення до попереднього транспортного засобу, с;

$t_{m_i}$  - час на виконання транспортним засобом маневру гальмування до рівності відповідних швидкостей руху, с.

Якщо умова (8) виконується, то водій має технічну можливість попередити виникнення ДТП у вигляді попутного зіткнення транспортних засобів, якщо умова не виконується, то настають умови, при яких, можливість виникнення ДТП суттєво зростає.

З урахуванням умови (8) можливо отримати значення середнього квадратичного відхилення швидкості транспортного потоку від швидкості транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту у певному перетині дороги або на ділянці дороги визначеної довжини, яке обмежує максимальне його значення при якому може не виконуватися умова (8):

$$t_{ni} = \frac{l_i}{v_{ni} - v_{m_i}} = \frac{l_i}{\Delta v_i} > t_{p_i} + t_{m_i}, \quad (8)$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{ni} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_{m_i} = \bar{v}_n - \bar{v}_m. \quad (9)$$

З урахуванням (9) та (8) для транспортного потоку, де швидкості транспортних засобів дорівнюють середнім значенням для потоку можливо записати усереднене співвідношення:

$$\bar{v}_n - \bar{v}_m = \frac{\bar{l}}{t_p + t_m}, \quad (10)$$

Залежності (8)...(10) дають можливість отримати значення середнього квадратичного відхилення швидкості транспортного потоку від швидкості транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту у певному перетині дороги або на ділянці дороги визначеної довжини для умов виникнення ДТП у вигляді побіжного зіткнення транспортних засобів:

$$(\sigma_{v_n}^2)_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \bar{v}_n - \left( \sum_{i=1}^m \bar{v}_m \right) \right)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{v}_n - \bar{v}_m)^2 = \left( \frac{\bar{l}}{t_p + t_m} \right)^2. \quad (11)$$

Значення (3.7) у сукупності з (3.11) уособлює характеристику безпеки сумісного руху потоків, що пропорційна зміні кількості ДТП у вигляді побіжних зіткнень транспортних засобів у транспортному потоці, де наявні пасажирські маршрутні транспортні засоби:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_{V_n}^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( v_{ni} - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \right) \right)^2, \\ (\sigma_{V_n}^2)_m &= \left( \frac{\bar{I}}{\bar{t}_p + \bar{t}_m} \right)^2, \\ 0 < \sigma_{V_n}^2 < (\sigma_{V_n}^2)_m. \end{aligned} \right. \quad (12)$$

З урахуванням розробок наведених раніше відхилення щільності руху, також сприяє обгонам та змінам смуги руху, інтенсивному маневруванню, обумовлює наявність груп транспортних засобів між послідовними пасажирськими маршрутними транспортними засобами, впливає на втомленість водія, запис для проведення підрахунків буде мати вигляд:

$$\sigma_q^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{I_i} - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \cdot I_i \right) \right)^2, \quad (13)$$

де  $\sigma_q$  - середнє квадратичне відхилення щільності транспортного потоку від щільності транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту на ділянці дороги визначеної довжини, авт./м.

Значення щільностей руху транспортних засобів у сукупності на ділянці дороги, що визначає транспортний потік, повинні наближатися одне до одного.

Дорожно-транспортна ситуація, де неможливе ДТП у вигляді зіткнення або наїзду з пасажирським маршрутним транспортним засобом, спостерігається коли щільність руху вказаних засобів наближується до нуля, або щільності руху є однаковими та незмінними за інтервалами руху у часі та просторі.

У вказаному випадку також виключаються обгони, маневри зміни смуги руху, маневри розгону та гальмування поодиноких транспортних засобів.

Рівність щільностей руху транспортного потоку та транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту вимагає, щоб значення (13) дорівнювало нулю. Урахування вимоги мінімальної щільності руху пасажирських маршрутних транспортних засобів (13) буде мати значення:

$$(\sigma_q^2)_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{I_i} \right)^2. \quad (14)$$

Зазначенні умови (13) у сукупності з (14) уособлює характеристику безпеки сумісного руху потоків, що пропорційна зміні кількості ДТП у вигляді зіткнень транспортних засобів у транспортному потоці, де наявні пасажирські маршрутні транспортні засоби:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_q^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{I_i} - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \cdot I_i \right) \right)^2, \\ (\sigma_q^2)_m &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{I_i} \right)^2, \\ 0 < \sigma_q^2 < (\sigma_q^2)_m. \end{aligned} \right. \quad (15)$$

Надалі розглянемо характеристики нерівномірності відносного руху транспортних засобів потоку відносно транспортних засобів потоку пасажирського маршрутного транспорту для мікрорівня:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_v^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( v_i - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \right) \right)^2, \\ \sigma_a^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( a_i - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot a_{m_i} \right) \right)^2, \\ \sigma_k^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( a_i v_i - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot a_{m_i} \cdot v_{m_i} \right) \right)^2, \end{aligned} \right. \quad (16)$$

де  $\sigma_v$  - середнє квадратичне відхилення швидкостей руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення швидкості руху транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту, м/с;

$\sigma_a$  - середнє квадратичне відхилення прискорення руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення прискорення руху транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту, м/с<sup>2</sup>;

$\sigma_k$  - середнє квадратичне відхилення „кінетичної енергії” транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення „кінетичної енергії” транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту, м<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>;

$n$  - кількість транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, од.;

$m$  - кількість маршрутів, що пролягають через досліджувану ділянку дороги, од.;

$V_m$  - середнє арифметичне значення швидкостей пасажирських маршрутних транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с;

$a_m$  - середнє арифметичне значення прискорень пасажирських маршрутних транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с.

$v_{m_i}$  - миттєва швидкість  $i$ -го пасажирського маршрутного транспортного засобу, що знаходився на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с;

$a_{m_i}$  - миттєве прискорення  $i$ -го пасажирського маршрутного транспортного засобу, що знаходився на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с<sup>2</sup>.

У сукупності транспортних засобів, що рухають по дорозі, разом з пасажирськими маршрутними транспортними засобами необхідною умовою від-

повідно до досліджень [6] є мінімізація всіх трьох характеристик. Надалі розглянемо окремо вказані три характеристики.

У середньому квадратичному відхиленні швидкостей руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення швидкості руху транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту повинно спостерігатися мінімальне відхилення швидкостей, що дозволить мінімально маневрувати та зменшувати маневри розгону гальмування та зміни смуги руху.

З урахуванням вказаного значення (16)  $\sigma_v$  уособлює характеристику безпеки сумісного руху потоків, яка пропорційна зміні кількості ДТП у вигляді побіжних зіткнень транспортних засобів за участю пасажирських маршрутних транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини:

$$\begin{cases} \sigma_v^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( v_i - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \right) \right)^2, \\ (\sigma_v^2)_0 = 0, \\ \sigma_v^2 \rightarrow 0. \end{cases} \quad (17)$$

Середнє квадратичне відхилення прискорення руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення прискорення руху транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту, з урахуванням вимог підтримання постійними технічні швидкості пасажирських маршрутних транспортних засобів, повинне наближуватися до наступного значення:

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot a_{m_i} \rightarrow 0, \quad (18)$$

$$(\sigma_a^2)_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i)^2. \quad (19)$$

З урахуванням (18)  $\sigma_a$  уособлює характеристику безпеки сумісного руху потоків, яка пропорційна зміні кількості ДТП у вигляді бічних зіткнень транспортних засобів, що виконують маневри розгону та гальмування при зміні смуги руху та обгоні, за участю пасажирських маршрутних транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини:

$$\begin{cases} \sigma_a^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( a_i - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot a_{m_i} \right) \right)^2, \\ (\sigma_a^2)_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i)^2, \\ 0 < \sigma_a^2 < (\sigma_a^2)_m. \end{cases} \quad (20)$$

Середнє квадратичне відхилення „кінетичної енергії” транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення „кінетичної енергії” транспортних засобів

пасажирського маршрутного транспорту розкриває більш глибоко взаємодію транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини.

За дослідженнями [7] з урахуванням маси транспортних засобів вказана характеристика описує інерційну потужність транспортних засобів при їх взаємодії з поверхнею дорожнього покриття, та розкриває тяжкість ДТП які можуть відбутися на ділянці дороги, що розглядається.

Значення прискорень пасажирських маршрутних транспортних засобів повинні наближуватися до нуля з урахуванням нормування технічної швидкості, тому у в такому випадку значення середнього квадратичного відхилення „кінетичної енергії” транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення „кінетичної енергії” транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту повинно наближуватися до наступного:

$$(\sigma_k^2)_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i v_i)^2, \quad (21)$$

$$\begin{cases} \sigma_k^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( a_i v_i - \left( \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot a_{m_i} \cdot v_{m_i} \right) \right)^2, \\ (\sigma_k^2)_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i v_i)^2, \\ 0 < \sigma_k^2 < (\sigma_k^2)_m. \end{cases} \quad (22)$$

Надалі розглянемо характеристики нерівномірності відносного руху транспортних засобів потоку відносно транспортних засобів потоку пасажирського маршрутного транспорту для інженерно-психологічного рівня.

Раніше було з'ясовано, що на інженерно-психологічному рівні взаємодія двох транспортних потоків відбувається на рівні відхилення значення часів реакції водіїв відповідно транспортних засобів потоку та маршрутних транспортних засобів, яке було запропоновано відображати за допомогою аналізу дистанцій, які підтримують відповідні транспортні засоби:

$$\sigma_L^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( L_i - \left( \sum_{i=1}^m L_{m_i} \right) \right)^2. \quad (23)$$

де  $\sigma_L$  - середнє квадратичне відхилення дистанцій транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення дистанцій пасажирських маршрутних транспортних засобів, с;

$n$  - кількість транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, од.;

$L_i$  - дистанції котрі підтримують водії транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, с;

$L_{m_i}$  - дистанції котрі підтримують водії пасажирських маршрутних транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, с.

Відповідно до досліджень ергономіки [8] дії водіїв в процесі руху повинні бути у відповідності з правилами руху, повинні бути виважені та мати відповідну швидкість свого виконання. Підтримка водіями належної безпечної дистанції між транспортними засобами є основною задачею при русі у транспортному потоці. Відповідний час реакції водія та його рівень підготовленості сумісно з досвідом водіння уособлюються у довжині безпечної дистанції руху, яку відповідний водій підтримує. Вказана дистанція не повинна бути менш зупиночного шляху транспортного засобу до умов зменшення його швидкості до швидкості попереднього транспортного засобу.

Взаємодія транспортних засобів синтезованих транспортних потоків передбачає в якості попереднього транспортного засобу для ситуації, що вказана вище, необхідно прийняти пасажирський маршрутний транспортний засіб.

Значення мінімальної дистанції між транспортними засобами, за умов виникнення ДТП у вигляді побіжного зіткнення, з урахуванням зменшення швидкості до їх рівності буде мати наступний вигляд:

$$L_{oi} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot v_i + \frac{v_i^2 - v_{mi}^2}{2j_i} = T_i \cdot v_i + \frac{v_i^2 - v_{mi}^2}{2j_i}, \text{ м}, (24)$$

$$L_{omi} = (t_{1m_i} + t_{2m_i} + 0,5 \cdot t_{3m_i}) \cdot v_{mi} + \frac{v_{mi}^2 - v_i^2}{2j_{mi}} = T_{mi} \cdot v_{mi} + \frac{v_{mi}^2 - v_i^2}{2j_{mi}}, \text{ м} \quad (25)$$

де  $L_{oi}$ ,  $L_{omi}$  - мінімальна дистанція між транспортними засобами, відповідно: між транспортним засобом та пасажирським маршрутним транспортним засобом, між пасажирським маршрутним транспортним засобом та транспортним засобом, м;

$t_1$ ,  $t_{1m_i}$  - час реакції водія відповідного транспортного засобу, с;

$t_2$ ,  $t_{2m_i}$  - час спрацювання гальмівної системи відповідного транспортного засобу, с;

$t_3$ ,  $t_{3m_i}$  - час зростання сповільнення відповідного транспортного засобу, с;

$j_i$ ,  $j_{mi}$  - сповільнення відповідного транспортного засобу, м/с<sup>2</sup>.

Транспортні потоки, що рухають з однаковими дистанціями, що складають (24) та (25) формують значення (23) у наступному вигляді:

$$(\sigma_L^2)_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \left( T_i \cdot v_i + \frac{v_i^2 - v_{mi}^2}{2j_i} \right) - \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( T_{mi} \cdot v_{mi} + \frac{v_{mi}^2 - v_i^2}{2j_{mi}} \right) \right) \right)^2, (26)$$

З урахуванням (26)  $\sigma_L^2$  уособлює характеристику безпеки сумісного руху потоків, яка пропорційна зміні кількості ДТП у вигляді попутних зіткнень транспортних засобів, що виконують маневри розгону та гальмування, за участю пасажирських маршрутних транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_L^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( L_i - \left( \sum_{i=1}^m L_{mi} \right) \right)^2, \\ (\sigma_L^2)_0 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \left( T_i \cdot v_i + \frac{v_i^2 - v_{mi}^2}{2j_i} \right) - \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( T_{mi} \cdot v_{mi} + \frac{v_{mi}^2 - v_i^2}{2j_{mi}} \right) \right) \right)^2, \\ \sigma_L^2 &\geq (\sigma_L^2)_0. \end{aligned} \right. (27)$$

### Висновки

Таким чином, у роботі синтезовані відповідні характеристики нерівномірності руху транспортного потоку відносно транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту, які дозволяють опосередковано оцінювати безпеку руху. Отримані необхідні значення обмежень та необхідних інтервалів коливання розроблених характеристик для забезпечення мінімального сприяння взаємодії вказаних транспортних потоків виникненню ДТП.

### Література

1. Столяров А.Л. Нові підходи щодо покращення безпеки дорожнього руху // Автошляховик України. – 2007. – №6. – С. 16-18.
2. Гудков В.А. Пассажи́рские автомоби́льные перевозки / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Шири́ев. – М.: Горячая линия - Телеком, 2006. – 447 с.
3. Попов С.Ю. Синтез макроскопічних характеристик взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на дорогах другої категорії / О.М. Дудніков, С.Ю. Попов // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник / АДІ ДВНЗ "ДонНТУ". – Горлівка, 2012. – № 2(13). – С.35-40.
4. Попов С.Ю. Синтез мікроскопічних та інженерно-психологічних характеристик взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на дорогах другої категорії / С.Ю. Попов // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту: Науково-виробничий збірник / ПВНЗ "ДААТ". – Донецьк, 2012. – № 1(18). – 35-41 С.
5. Дудніков О.М. Формування підходу до організації міських пасажирських перевезень на сумісних ділянках руху Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник / О.М. Дудніков, М.С. Виноградов, Н.В. Кузьменко // АДІ ДВНЗ "ДонНТУ". – Горлівка, 2009. – № 2(9). – С. 52 – 59.
6. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д.Дрю. – М: Транспорт, 1972. – 424 с.
7. Дудніков О.М. Енергетичний підхід до аналізу безпеки руху транспортного потоку // Автошляховик України. – 2003. - № 2 (172). – С. 22-25.
8. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн./ За заг. ред. М.Ф.Дмитриченка. – К.: Знання України, 2005. – Кн. V: Ергономіка / Е.В.Гаврилов, М.Ф.Дмитриченко, В.К.Частка та ін. – 256 с.