

УДК 656.13.05

Дудніков О.М., канд. техн. наук

ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ БАГАТОРЯДНОГО ЩІЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА ДІЛЯНЦІ ДОРОГИ ВИЗНАЧЕНОЇ ДОВЖИНИ

Анотація. У статті показані основні теоретичні положення при синтезі основного рівняння багаторядного щільного транспортного потоку, розкриті співвідношення інтенсивності, щільності та швидкості однорядних транспортних потоків та відповідні співвідношення для багаторядного транспортного потоку у визначених умовах дослідження за часом та простором, запропонований запис основного рівняння багаторядного щільного транспортного потоку.

Аннотация. В статье показаны основные теоретические положения при синтезе основного уравнения многорядного плотного транспортного потока, раскрыты соотношения интенсивности, плотности и скорости однорядных транспортных потоков, соответствующие соотношения для многорядного транспортного потока в определенных условиях исследования во времени и в пространстве, предложенная запись основного уравнения многорядного плотного транспортного потока.

Annotation. In article the basic theoretical provisions at synthesis of the main equation of a much ryadny dense transport stream are shown, ratios of intensity,

density and speeds of the single-row transport streams, the corresponding ratios for a much rjadny transport stream in certain conditions of research in time and in the space, the offered record of the main equation of a much rjadny dense transport stream are opened.

Безпека дорожнього руху є однією з головних проблем на автомобільному транспорті у розвинутих країнах світу. Сьогодні автомобільний транспорт визнаний як найбільш небезпечний з усіх інших видів транспорту. Згідно даних статистики країн Європейського союзу (ЄС) переміщення людини за допомогою автомобіля в десять разів небезпечніше ніж в літаку та в двадцять разів небезпечніше ніж в вагоні потягу. За один рік в країнах ЄС спостерігається близько 1 млн. 300 тис. дорожньо-транспортних пригод (ДТП), в яких гине понад 45 тис. осіб та травмується біля 1 млн. 700 тис. осіб [1,2]. Вказані цифри розкривають значну актуальність розгляду проблеми безпеки дорожнього руху.

В Україні в період останніх десяти років щорічно спостерігається коливання загальної кількості ДТП в межах 27...38 тис., в яких гине біля 4...6 тис. осіб та отримує поранення – 30...45 тис. осіб. Відносна кількість ДТП порівняно з країнами ЄС в Україні в 4...10 разів більша. Кількість загиблих у ДТП складає 8...13% від загиблих у ДТП всієї Європи, тоді як кількість автомобілів – лише 2% від всього європейського автомобільного парку. Тяжкість наслідків ДТП в п'ять разів вище ніж у країнах ЄС [1,2]. Питомі показники аварійності та тяжкості наслідків ДТП є одними з найгірших у Європі. В таких умовах актуальність проблеми безпеки дорожнього руху в Україні є найбільш суттєвою серед країн ЄС.

Існуючі методи та стандартизовані заходи забезпечення безпеки руху на ділянках доріг, що застосовуються у світі та в Україні, за розглянутими наявними на теперішній час показниками аварійності не дозволяють вирішити практичну проблему підвищення безпеки руху на автомагістралях шляхом розробки заходів зі зниження кількості та тяжкості ДТП. В свою чергу, зазначене розкриває наявність наукової проблеми щодо розробки теоретичних основ та практичних методів забезпечення безпеки руху на автомагістралях.

У роботі [3] було запропоноване основне рівняння однорядного транспортного потоку, який спостерігається певний час на відповідній довжині смуги руху:

$$\frac{L}{\Delta t} [q_L \cdot \bar{V}_L - q_{L0} \cdot \bar{V}_{L0}] = N_1 \cdot \bar{V}_1 - N_2 \cdot \bar{V}_2 + \frac{\bar{V}_L - \bar{V}_{L0}}{\Delta t}, \quad (1)$$

$$\bar{a}_L = \frac{\bar{V}_L - \bar{V}_{L0}}{\Delta t}, \quad (2)$$

$$\frac{L}{\Delta t} [q_L \cdot \bar{V}_L - q_{L0} \cdot \bar{V}_{L0}] = N_1 \cdot \bar{V}_1 - N_2 \cdot \bar{V}_2 + \bar{a}_L, \quad (3)$$

де L - довжина ділянки дороги, де досліджуються зміни характеристик однорядного транспортного потоку;

Δt - приріст часу дослідження змін характеристик однорядного транспортного потоку;

q_{0L} , q_L - миттєві усереднені значення щільності однорядного транспортного потоку на довжині ділянки дороги L , які були розраховані на початку відрахування часу спостереження Δt та після його відрахування;

\bar{V}_{L0} , \bar{V}_L - миттєві швидкості однорядного транспортного потоку за довжиною досліджуваної ділянки дороги L , які були розраховані на початку відрахування часу спостереження Δt та після його відрахування;

N_1 , N_2 - усереднені значення інтенсивності руху транспортного потоку в перетинах 1 та 2 на границях ділянки дороги, які отримані за приріст часу спостереження Δt ; \bar{V}_1 - швидкість транспортного потоку у перетині 1 ділянки дороги за час спостереження $t = \Delta t$; \bar{V}_2 - швидкість транспортного потоку у перетині 2 ділянки дороги за час спостереження $t = \Delta t$; \bar{a}_L - прискорення однорядного транспортного потоку на довжині досліджуваної ділянки дороги за час $t = \Delta t$.

Відповідно до результатів (3) з'явилася потреба введення нового поняття „прискорення однорядного транспортного потоку” – зміна швидкості транспортного потоку на довжині досліджуваної ділянки дороги за час спостереження.

$\bar{V}_{1\Sigma}$, $\bar{V}_{2\Sigma}$ - швидкості багаторядного транспортного потоку у перетинах 1 та 2 на межі досліджуваної ділянки дороги, які отримані усередненням швидкостей поодиноких транспортних потоків за часом спостереження Δt за всіма смугами руху m .

Рівняння (4) сумісно з запропонованими поняттями, що характеризують однорядний й багаторядний рух, являє собою теоретичну основу для відповідної оцінки станів багаторядного транспортного потоку на ділянці дороги. Пропонується вказане рівняння називати, як „основне рівняння багаторядного транспортного потоку”.

Дослідження, що проведені у [5], вказали на наявність стійкої тенденції нелінійного зменшення швидкості багаторядного транспортного потоку зі зростанням його щільності. Для прямих горизонтальних ділянок доріг з чотирма та шістьма смугами руху у [5] була отримана залежність швидкості руху багаторядного транспортного потоку від поточного значення щільності для переважно легкового складу потоку:

$$V = \frac{V_0}{\left(\frac{q}{a}\right)^3 + 1} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{q}{q_{\max}} \cdot n\right)^2}, \quad (5)$$

де V - швидкість транспортного потоку, км/год.;

V_0 - швидкість руху транспортного засобу у вільних умовах, км/год.;

n - кількість смуг руху в одному напрямку, од.;

q - щільність транспортного потоку на окремій смузі руху, авт./км;

q_{\max} - максимальна щільність транспортного потоку на окремій смузі руху, авт./км;

a - константа, що приймає наступні значення [5]: для чотирьох смугових доріг $a = 90$ од., а для шістьох смугових $a = 135$ од.

Експериментальні дані [5], що характеризують залежність швидкості руху від щільності транспортних потоків, свідчать, що у всьому діапазоні зміни щільності не спостерігається строго лінійний характер залежності. Лінійна модель прийнятна лише для центральної частини кривої [5]: для доріг з чотирма смугами при щільності руху 50-110 авт./км, для доріг з шістьма смугами 72-160 авт./км. При щільностях руху менш і більш зазначених прийнятна нелінійна модель, що враховувала би кривизну. Отримані залежності дозволили у [5] встановити границі окремих станів транспортних потоків на дорогах з чотирма та шістьма смугами руху. Приведені дослідження розкривають наявність монотонної залежності між зростанням щільності багаторядного транспортного потоку та зменшення швидкості руху. Максимуми, мінімуми та розломи в залежності відсутні. Це вказує на наявність послідовних дій водіїв багаторядного транспортного потоку у сприйнятті збільшення щільності транспортного потоку.

Явище постійної швидкості на початкових ущільненнях потоку розкривається у співвідношенні довжини досліджуваної ділянки дороги з дистанцією між транспортними засобами, при якій спостерігається поява взаємного впливу на швидкості руху транспортних засобів, тому ущільнення транспортного потоку, що спостерігається, не викликає відповідного зменшення швидкості руху до того моменту, коли зменшення дистанцій оказує вплив на швидкості руху у бік зменшення. Вказане явище було досліджено Ю.М. Ситниковим у [6] та прокоментована наступним чином, відстань на якій відбувається зрівняння швидкостей транспортного засобу, що намагається виконати обгін та транспортного засобу, що обганяють:

$$d = 6,5 \cdot e^{0,09 \cdot \bar{V}_{CB}}, \quad (6)$$

де d - відстань між транспортними засобами в момент початку зрівнювання швидкостей між транспортними засобами, м;

\bar{V}_{CB} - швидкість вільного руху, м/с.

Значення (6) можливо застосувати для синтезу граничного значення щільності транспортного потоку, з якого починається реальне його існування у вигляді сукупності транспортних засобів:

$$q_0 = \frac{1}{6,5 \cdot e^{0,009 \cdot \bar{V}_{cb}}} \quad (7)$$

У разі, якщо щільність транспортного потоку не зростає більше значення (7) відсутні інженерно-психологічні прояви у залежностях між характеристиками потоку, відсутній транспортний потік в класичному розумінні.

Зазначені умови (5) та (7) потрібно враховувати у синтезованому основному рівнянні багаторядного транспортного потоку (4), як математичної теоретичної основи на інженерно-психологічному рівні дослідження:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{L1} \pm \frac{n_{p1-2}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{L1} - q_{L01} \cdot \bar{V}_{L01} \right] = N_{1,1} \cdot \bar{V}_{1,1} - N_{2,1} \cdot \bar{V}_{2,1} + \bar{a}_{L1}, \\ \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{L2} \pm \frac{n_{p1-2}}{L} \pm \frac{n_{p2-3}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{L2} - q_{L02} \cdot \bar{V}_{L02} \right] = N_{1,2} \cdot \bar{V}_{1,2} - N_{2,2} \cdot \bar{V}_{2,2} + \bar{a}_{L2}, \\ \dots \\ \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{Lm} \pm \frac{n_{pm}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{Lm} - q_{L0m} \cdot \bar{V}_{L0m} \right] = N_{1,m} \cdot \bar{V}_{1,m} - N_{2,m} \cdot \bar{V}_{2,m} + \bar{a}_{Lm}, \\ \sum_{r=1}^m N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\ \sum_{r=1}^m N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \\ q_{L0r} \geq \frac{1}{6,5 \cdot e^{0,009 \cdot \bar{V}_{cb}}}, \\ \bar{V}_{Lr} = \frac{\bar{V}_{L0r}}{\left(\frac{q_{Lr}}{a} \right)^3 + 1} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{q_{Lr}}{q_{\max}} \right)^2}. \end{array} \right. \quad (8)$$

Висновок

У роботі синтезоване основне рівняння багаторядного щільного транспортного потоку, яке визначає взаємозалежність основних характеристик однорядних транспортних потоків та загальні тенденції зміни характеристик багаторядного руху в залежності від часу спостереження та довжини відповідної ділянки дороги. Вказане рівняння можливо розвинути до рівнянь забезпечення безпеки руху багаторядних щільних транспортних потоків з застосуванням понять мікроскопічного підходу до аналізу транспортних потоків й з застосуванням положень відповідного ситуаційного аналізу.

Література

1. <http://zastraxuy.com.ua/?tag=statistika-dtp>.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році.
3. Дудніков О.М. Рівняння зміни кінематичних характеристик транспортного потоку на ділянці дороги визначеної довжини / О.М. Дудніков // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник / НТУ. – К.: НТУ, 2009. – Випуск 77. – С. 75 – 81.
4. Дрю Д., Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: транспорт, 1972. – 424 с.
5. Красников А.Н. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах / А.Н. Красников. – М.: Транспорт, 1988. – 111 с.
6. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. - М.: Транспорт, 1977. – 303 с.