

ШВИДКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ З ДВОМА ПОВІЛЬНИМИ АВТОМОБІЛЯМИ НА СМУЗІ РУХУ БЕЗ ОБГОНІВ ТА ВИПЕРЕДЖЕНЬ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація

Презентовано дослідження швидкості потоку транспорту на ділянках доріг з однією доступною для руху смугою без можливості виконання маневрів обгону або випередження, коли наявний сильний вплив автомобілів один на одного. Виведена формула для розрахунку середньої швидкості пачки автомобілів з двома повільними автомобілями, які обмежують швидкість інших.

Ключові слова: транспортний потік, середня швидкість, умови руху, аналітичне моделювання, транспортна система.

Швидкість руху автомобілів займає особливе місце серед характеристик транспортних потоків (ТП) і є предметом вивчення у широкому колі питань безпеки і комфорту руху, впливу на довкілля і якість життя. Також швидкість є базовим параметром ТП у програмах для імітаційного моделювання дорожнього руху, при теоретичному аналізі характеристик ТП і при розробці заходів з організації дорожнього руху. Такі застосування часто вимагають знання середньої швидкості, закону розподілу цієї випадкової величини (ВВ) та значень його перцентилів [1]. Більшість досліджень, спрямованих на отримання цих характеристик, проведені на позаміських локаціях [2], в той час як досліджень ВВ швидкості у містах суттєво менше.

В міських умовах дорожнього простору, доступного водіям, менше у порівнянні із умовами за межами міст, що знижує швидкість руху. Найбільш розповсюдженими місцями, де спостерігається таке явище, є сильне ущільнення ТП і обмеження можливостей маневрування, викликане іншими користувачами проїжджої частини та заходами з організації дорожнього руху. Подібні умови створюють можливості для формалізації процесу руху, адже у них, на відміну від вільного ТП, спостерігається відчутний взаємний вплив автомобілів один на одного.

Для пошуку аналітичної залежності, яка дала би змогу визначити середню швидкість ТП на смузі руху без обгонів і випереджень за умови наявності у ТП двох повільних автомобілів (ПА), що обмежують швидкість інших, вирішувана задача була формалізована наступним чином: нехай N автомобілів, що рухаються щільним ТП, у випадковому порядку в'їжджають на смугу руху, де неможливі обгони та випередження; нехай нумерація автомобілів у пачці починається з 0 і при рівній ймовірності для кожного автомобіля зайняти будь-яке місце x у пачці кожен з них з ймовірністю $1/N$ може мати номер $x \in [0; N - 1]$; нехай усі водії, крім двох, бажають їхати зі максимально дозволеною швидкістю V_{\max} ; нехай водій першого повільного автомобіля (ПА1) їде зі швидкістю V_s , $0 < V_s < V_{\max}$, а другого ПА (ПА2) – зі швидкістю V_2 , $V_2 > V_s$; нехай $\Delta_s = (V_{\max} - V_s)$ – відхилення швидкості ПА1 від максимально дозволеної, а $\Delta_2 = (V_2 - V_s)$ – відхилення швидкості ПА2 від швидкості ПА1.

Оскільки обгони на смузі руху заборонені, то швидкість $(N - 2)$ автомобілів, водії яких бажають їхати зі швидкістю V_{\max} , залежатиме від того, за яким із ПА вони опинилися. Якщо за ПА1, то вони виїжджатимуть з ділянки зі швидкістю V_s , якщо тільки за ПА2 – то зі швидкістю V_2 , а автомобілі перед обома ПА – зі швидкістю V_{\max} . Якщо ПА1 зі швидкістю V_s опинився у потоці попереду ПА2 і зайняв у ньому позицію x , рис. 1а, то середня швидкість потоку на виїзді зі смуги руху буде такою самою, як і в найпростішому випадку з одним ПА у потоці, і дорівнюватиме $\bar{V} = V_s + (N - 1)\Delta_s / 2N$ [3]. Ймовірність такої події складає $1/N$. З такою ж ймовірністю на позиції x попереду ПА1 може опинитися і ПА2 зі швидкістю V_2 . Тоді всі автомобілі перед ним їхатимуть із швидкістю V_{\max} , він – зі швидкістю V_2 , а автомобілі за ним – або зі швидкістю V_2 , якщо перед ними немає ПА1, або зі швидкістю V_s , якщо він перед ними є, рис. 1б.

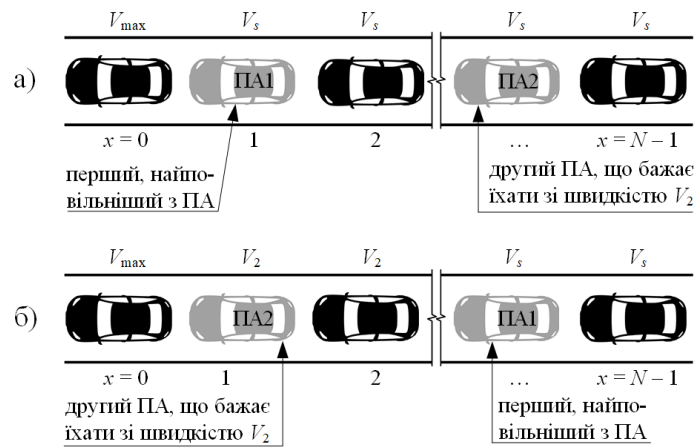


Рисунок 1 – Схема транспортного потоку з двома ПА: а) коли повільніший з них виявився поперед іншого ПА; б) коли швидший з них опинився поперед іншого ПА

Таким чином, для $(N - x - 1)$ автомобілів після позиції x у потоці виникає ситуація з одним ПА, описана у [37], тільки з максимальною швидкістю V_2 . Зроблені на викладених основах математичні перетворення дали можливість вивести формулу шуканої середньої швидкості:

$$\bar{V} = V_s + \frac{\Delta_s}{N} \cdot \frac{N-2}{3} + \frac{\Delta_2}{2N} \cdot \frac{N+1}{3}. \quad (1)$$

Отримана формула дає можливість прослідкувати вплив швидкостей обох ПА, що рухаються у ТП, а також загальної кількості автомобілів у потоці на середню швидкість автомобілів на виїзді з односмугової ділянки дороги без обгонів і випереджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Maghrour Zefreh, M., & Török, A. (2020). Distribution of traffic speed in different traffic conditions: an empirical study in Budapest. *Transport*, 35(1), 68–86.
2. Hoogendoorn, S.P. (2005). Unified approach to estimating free speed distributions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(8), 709–727.
3. Horbachov, P., & Svichynskyi, S. (2024). The average speed of a dense traffic flow with one slow-moving vehicle on a road section with limited manoeuvring opportunities. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*, 2(23). 57–64.

Горбачов Петро Федорович – д.т.н., професор, професор кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, e-mail: gorbachov.pf@gmail.com
Свічинський Станіслав Валерійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, e-mail: stas_svichinsky@ukr.net

THE SPEED OF A TRAFFIC FLOW WITH TWO SLOW-MOVING VEHICLES ON A LANE WITH NO OVERTAKING OPPORTUNITIES

Abstract

The study of speed on one-lane road sections without the possibility of overtaking and the strong influence of vehicles on each other is presented. The formula for calculating the average speed of a vehicle platoon with two slow-moving vehicles, which limit the speed of the others, is derived.

Keywords: traffic flow, average speed, traffic conditions, analytical modelling, transport system.

Horbachov Peter – DSc, Professor at Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: gorbachov.pf@gmail.com

Svichynskyi Stanislav – PhD, Associate Professor, Department of Transport Systems and Logistics, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: stas_svichinsky@ukr.net