

**ВПЛИВ ПАСАЖИРСЬКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ НА
МАКРОСКОПІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ**

**IMPACTS OF PUBLIC TRANSPORT TO MACROSCOPIC CHARACTERISTICS
OF TRAFFIC FLOW**



Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, tsbdr@ukr.net, тел. +38 (044) 280-48-85,

<https://orcid.org/0000-0003-3145-7225>



Попов Станіслав Юрійович, Національний транспортний університет, здобувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, popov@ntu.edu.ua, тел. +38 (044) 280-48-85,

<https://orcid.org/0000-0002-9373-2934>

Анотація. Маршрутний транспорт має в своєму складі однотипний рухомий склад. Рух маршрутного транспорту, що проходять через ділянку автомобільної дороги має ознаки стаціонарності у зв'язку з чим виникає формулювання вказаної наукової задачі. В роботі пропонується оцінювати рівень безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту через відхилення характеристик руху транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту від характеристик транспортних засобів потоку. Проведений авторами аналіз та відповідний синтез загальних умов руху пасажирського маршрутного транспорту в транспортному потоці на автомобільних дорогах загального користування дозволив сформулювати систему взаємодії між трьома елементами: транспортний потік, пасажирські маршрутні транспортні засоби, дорожні умови.

Наведені критерії відхилення характеристик руху пасажирських маршрутних транспортних засобів від характеристик транспортного потоку, що в подальшому дає можливість оцінювати рівень небезпеки на маршруті. Запропонована загальна характеристика дозволяє оцінити опосередковано рівень безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту на автомобільних дорогах згідно положень теорії транспортних потоків.

Ключові слова: пасажирський маршрутний транспорт, транспортний потік, автомобільні дороги загального користування, характеристики транспортного потоку, безпека руху пасажирського маршрутного транспорту.

Аналіз останніх досліджень

Було проаналізовано сучасні наукові дослідження впливу маршрутного транспорту на характеристики транспортного потоку [1-3]. Встановлено, що безпека руху пасажирського маршрутного транспорту не розкрита в повному обсязі та вимагає додаткових досліджень у зв'язку з актуальністю. При складанні маршруту чи проектуванні безпека руху враховується опосередковано.

Методики розрахунку ступеня небезпеки або методики організації маршруту яка враховувала би рівень безпеки зараз не існує. Тому, для організації руху пасажирського маршрутного транспорту на автомобільних дорогах слід розробити відповідну методику, яка буде дозволяти враховувати при проектуванні маршруту безпеку руху на підставі наведених характеристик дорожнього руху.

Основна частина

Дорожні умови руху в вузлах та на ділянках вулично-дорожньої мережі, через які планується, або проходить відповідний маршрут руху автобусів, є однаковими, як для транспортних потоків, що рухаються по ним, так й для відповідних пасажирських маршрутних транспортних засобів. Зазначена особливість розкриває відсутність необхідності детального дослідження впливу дорожніх умов на безпеку руху пасажирського маршрутного транспорту, бо він знаходиться практично в тих же умовах, що й транспортні засоби загального транспортного потоку, тобто вказаний вплив вже досліджений в умовах аналізу загального впливу дорожніх умов на безпеку дорожнього руху [1, 2].

Але є дуже суттєва необхідність дослідження взаємного впливу між транспортними засобами транспортного потоку та присутніми в ньому пасажирськими маршрутними транспортними засобами.

Зараз існує наступне визначення дорожнього руху: „дорожній рух” – процес руху по дорогам транспортних засобів та учасників дорожнього руху. Відповідно до вказаних визначень безпека дорожнього руху не може бути об’єктом дослідження, тобто її не можливо розглядати як частину матеріального світу, що може підлягати дослідженню. Дослідженням повинен підлягати дорожній рух на предмет його безпеки. Транспортний потік - сукупність транспортних засобів, що рухаються по дорозі [3, 4].

З погляду вказаних понять, послідовний рух пасажирських маршрутних транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини можливо розглядати як сукупність пасажирських маршрутних транспортних засобів, що рухаються по дорозі. Пасажирський маршрутний транспорт – сукупність пасажирських маршрутних транспортних засобів, що рухається по автомобільній дорозі. Транспортний потік пасажирського маршрутного транспорту можливо розглядати в межах формування схеми маршруту. Маршрутний транспорт має в своєму складі досить визначений однотипний рухомий склад, який утворюється рухомим складом відповідних маршрутів, що проходять через ділянку дороги, швидкістю руху відповідних засобів, їхньою кількістю на маршруті та відповідними довжинами маршрутів.

Дослідження руху пасажирського маршрутного транспорту дозволяє синтезувати систему взаємодії трьох елементів:

- „транспортний потік”;
- „пасажирський маршрутний транспорт”;
- „дорожні умови”.

Необхідно на предмет безпеки дорожнього руху дослідити наступні взаємодії:

- „транспортний потік” – „дорожні умови”;
- „пасажирський маршрутний транспорт” – „дорожні умови”;
- „транспортний потік” – „ пасажирський маршрутний транспорт”.

З вказаних трьох взаємодій дві перші були досліджені на достатньому рівні. Взаємодія „транспортний потік” – „пасажирський маршрутний транспорт” є недослідженою, особливо, з погляду безпеки дорожнього руху в чому і полягає наукова задача роботи.

За геометричними, кінематичними та динамічними характеристиками пасажирські маршрутні транспортні засоби також суттєво відрізняються від транспортних засобів транспортного потоку. У своїй більшості пасажирські маршрутні транспортні засоби, це великогабаритні та тихохідні транспортні засоби, що суттєво обмежують швидкість транспортних засобів, обмежують оглядовість для відповідних водіїв, що рухають в безпосередній близькості до маршрутного транспортного засобу.

Пасажирський маршрутний транспорт можливо описати за допомогою трьох основних характеристик транспортного потоку [5]: швидкості інтенсивності та щільності.

Швидкість транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту наближується одна до одної та наближуються до швидкості, що передбачена при розробці маршруту у паспорті маршруту та обумовлює розклад руху.

Зі всього складу транспортного потоку тільки пасажирські маршрутні транспортні засоби мають чітко визначену швидкість руху й це є досить важливим аспектом формування умов безпеки руху таких транспортних засобів в транспортному потоці, де швидкість руху формується умовами організації руху та наявним транспортним потоком на відповідній ділянці дороги.

Рух маршрутних транспортних засобів з визначеними інтервалами у часі та відповідною швидкістю теоретично виключає можливість виникнення ДТП між транспортними засобами окремого маршруту, що у свою чергу вказує на досить суттєві обмеження випадків виникнення вказаних ДТП.

Якщо розглядати рух пасажирських маршрутних транспортних засобів по ділянці дороги, як відповідної сукупності транспортних засобів, можливо сформулювати послідовність визначення швидкості вказаного транспортного потоку [6].

В залежності від того скільки пасажирських маршрутних транспортних засобів за відповідними маршрутами рухають на ділянці дороги з фіксованими швидкостями, можливо розрахувати швидкість пасажирського маршрутного транспорту за наступною формулою:

$$V_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i}, \quad (1)$$

де V_m - швидкість пасажирського маршрутного транспорту, м/с;

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

δ_i - відсоток пасажирських маршрутних транспортних засобів i -го маршруту у загальному складі пасажирського маршрутного транспорту, од; ϵ умова:

$$1 = \sum_{i=1}^m \delta_i, \quad (2)$$

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

Інтенсивність руху пасажирського маршрутного транспорту є теж визначеною характеристикою за рахунок нормування інтервалу руху автобусів у часі. Інтенсивність руху можливо визначити за наступною формулою:

$$N_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{I_i}, \quad (3)$$

де N_m - інтенсивність пасажирського маршрутного транспорту, авт./с;

I_i - інтервал руху пасажирських маршрутних транспортних засобів i -го маршруту у загальному складі пасажирського маршрутного транспорту, с.

Щільність маршрутного транспорту є також визначеною, що забезпечується наявністю відповідних маршрутів на ділянці дороги та інтервалами у часі руху маршрутних транспортних засобів по вказаній ділянці дороги за вказаними маршрутами.

Значення інтервалів руху між пасажирськими маршрутними транспортними засобами у просторі можливо розрахувати за допомогою відомих співвідношень для рівномірного руху:

$$q_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \cdot I_i, \quad (4)$$

де q_m - щільність пасажирського маршрутного транспорту, авт./м.

Стан пасажирського маршрутного транспорту можливо визначити з застосуванням всіх попередніх характеристик у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} N_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{I_i}, \\ V_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i}, \\ q_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \cdot I_i. \end{cases} \quad (5)$$

Для пасажирського маршрутного транспорту повинне виконуватися основне рівняння транспортного потоку, у якому при застосуванні двох характеристик (5) третя, розрахункова, буде мати усереднене значення та стан потоку буде оцінений у вигляді його усередненої моделі руху через перетин дороги (щільність потоку буде усереднена), або на ділянці дороги визначеної довжини (інтенсивність потоку буде усереднена):

$$\begin{cases} \bar{q}_m = \frac{N_m}{V_m}, \\ N_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{I_i}, \\ V_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i}. \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{N}_m = q_m \cdot V_m, \\ V_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i}, \\ q_m = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \cdot I_i. \end{cases} \quad (6)$$

Транспортний потік на ділянці дороги, що досліджується, пропонується оцінювати за відомими характеристиками та за допомогою основного рівняння транспортного потоку відповідно до положень теорії транспортних потоків. З урахуванням сформульованих характеристик пасажирського маршрутного транспорту (1)...(6) та запису середніх квадратичних відхилень можливо записати наступні співвідношення для характеристики зазначених відхилень.

Відхилення інтенсивності руху, сприяє обгонам та змінам смуги руху, інтенсивному маневруванню, пропонується записувати наступним чином:

$$\sigma_N^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N_i - N_m)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(N_i - \left(\sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{I_i} \right) \right)^2, \quad (7)$$

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

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

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

Відхилення швидкості руху, також сприяє обгонам та змінам смуги руху, інтенсивному маневруванню, обумовлює швидке зростання або скорочення дистанцій між транспортними засобами, пропонується записувати наступним чином:

$$\sigma_{V_{\Pi}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_{\Pi i} - V_m)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(v_{\Pi i} - \left(\sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \right) \right)^2, \quad (8)$$

де $\sigma_{V_{\Pi}}$ - середнє квадратичне відхилення швидкості транспортного потоку від швидкості 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.;

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

Відхилення щільності руху, також сприяє обгонам та змінам смуги руху, інтенсивному маневруванню, обумовлює наявність груп транспортних засобів між послідовними пасажирськими маршрутними транспортними засобами, пропонується записувати наступним чином:

$$\sigma_q^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(q_i - \left(\sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \cdot I_i \right) \right)^2, \quad (9)$$

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

n - кількість спостережень значень щільності руху транспортного потоку на ділянці дороги визначеної довжини, од.;

q_i - i -е значення щільності руху транспортного потоку на ділянці дороги визначеної довжини, авт./с.

Таким чином, запропоновані відхилення основних характеристик транспортних засобів потоку та маршрутного транспорту уособлюють загальну характеристику, яка розкривається на відповідному макрорівні аналізу згідно положень теорії транспортних потоків [7, 8]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_N^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N_i - N_m)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(N_i - \left(\sum_{i=1}^m \delta_i \cdot \frac{1}{I_i} \right) \right)^2, \\ \sigma_{V_{\Pi}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_{\Pi i} - V_m)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(v_{\Pi i} - \left(\sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \right) \right)^2, \\ \sigma_q^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(q_i - \left(\sum_{i=1}^m \delta_i \cdot v_{m_i} \cdot I_i \right) \right)^2. \end{array} \right. \quad (10)$$

Висновок

Таким чином, згідно проведеного аналізу та відповідного синтезу загальних умов руху пасажирського маршрутного транспорту в транспортному потоці на автомобільних дорогах з'ясовано наступне:

- рух транспортного потоку на автомобільних дорогах пов'язаний зі значними швидкостями та інтенсивностями, тому безпека руху актуальна;
- синтезована система взаємодії у дорожньому русі на автомобільних дорогах між трьома елементами: транспортний потік, пасажирський маршрутний транспорт, дорожні умови.
- розкрита необхідність проведення досліджень на предмет безпеки руху в межах взаємодії транспортного потоку та пасажирського маршрутного транспорту;
- синтезовані основні характеристики взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком.

Перелік посилань

1. Roy, R., Saha, P. Analysis of vehicle-type-specific headways on two-lane roads with mixed traffic (2020) *Transport*, 35 (6), pp. 588-604. Cited 4 times., <http://journals.vgtu.lt/index.php/Transport/about> doi: 10.3846/transport.2020.14136.
2. Roy, R., Saha, P., Headway distribution models of two-lane roads under mixed traffic conditions: a case study from India (2018) *European Transport Research Review*, 10 (1), art. no. 3., <http://www.springer.com/engineering/mechanical+eng/journal/12544>.
3. Li, L., Chen, X.M., Vehicle headway modeling and its inferences in macroscopic/microscopic traffic flow theory: A survey (2017) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 76, pp. 170-188. www.elsevier.com/inca/publications/store/1/3/0/. doi: 10.1016/j.trc.2017.01.007.
4. Traffic flow dynamics: Data, models and simulation. (2013) *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, pp. 1-503. Doi: 10.1007/978-3-642-32460-4.
5. Drew, D. (1972). Theory of transport flows and their management. *Transport*.
6. Ali, Y., Zheng, Z., Haque, M.M., Wang, M., A game theory-based approach for modelling mandatory lane-changing behaviour in a connected environment (2019) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 106, pp. 220-245. www.elsevier.com/inca/publications/store/1/3/0/ doi: 10.1016/j.trc.2019.07.011.
7. Daamen, W., Buisson, C., Hoogendoorn, S.P., Traffic simulation and data: Validation methods and applications (2014) *Traffic Simulation and Data: Validation Methods and Applications*, pp. 1-244. <http://www.tandfebooks.com/doi/book/10.1201/b17440> ISBN: 978-148222871-7; 978-148222870-0 doi: 10.1201/b17440.
8. Ghiasi, A., Hussain, O., Qian, Z.S., Li, X., A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method, (2017) *Transportation Research Part B*:

Methodological, 106, pp.
doi: 10.1016/j.trb.2017.09.022.

266-292.

www.elsevier.com/inca/publications/store/5/4/8/

IMPACTS OF PUBLIC TRANSPORT TO MACROSCOPIC CHARACTERISTICS OF TRAFFIC FLOW

Polishchuk Volodymyr P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Transport Systems and Traffic Safety, <https://orcid.org/0000-0003-3145-7225>

Popov Stanislav Yu., National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, <https://orcid.org/0000-0002-9373-2934>

Abstract. Public transport (buses) have similar to each other type of vehicles. Movement of public transport on automobile roads has signs of stationarity. For this reason scientific task has been designed. The authors in research evaluate the level of safety of the passenger transport through the consideration of the characteristics of the traffic of passenger transport in terms of the characteristics of the traffic flow. Analysis of the problem formulate influence system between three elements: traffic flow, passenger transport, road environment. Establish criteria for determining the characteristics of the buses movement in terms of the characteristics of the traffic flow. Shown criteria gives the possibility to assess the level of unsafety on the route. Presented general characteristic allows to estimate indirectly the level of road safety of passenger transport.

Key words: passenger transport, transport flow, public roads, traffic flow characteristics, safety of passenger route transport.

References

1. Roy, R., Saha, P. Analysis of vehicle-type-specific headways on two-lane roads with mixed traffic (2020) *Transport*, 35 (6), pp. 588-604. Cited 4 times., <http://journals.vgtu.lt/index.php/Transport/about> doi: 10.3846/transport.2020.14136.
2. Roy, R., Saha, P., Headway distribution models of two-lane roads under mixed traffic conditions: a case study from India (2018) *European Transport Research Review*, 10 (1), art. no. 3., <http://www.springer.com/engineering/mechanical+eng/journal/12544>.
3. Li, L., Chen, X.M., Vehicle headway modeling and its inferences in macroscopic/microscopic traffic flow theory: A survey (2017) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 76, pp. 170-188. www.elsevier.com/inca/publications/store/1/3/0/ doi: 10.1016/j.trc.2017.01.007.
4. Traffic flow dynamics: Data, models and simulation. (2013) *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, pp. 1-503. Doi: 10.1007/978-3-642-32460-4.
5. Drew, D. (1972). Theory of transport flows and their management. *Transport*.
6. Ali, Y., Zheng, Z., Haque, M.M., Wang, M., A game theory-based approach for modelling mandatory lane-changing behaviour in a connected environment (2019) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 106, pp. 220-245. www.elsevier.com/inca/publications/store/1/3/0/ doi: 10.1016/j.trc.2019.07.011.
7. Daamen, W., Buisson, C., Hoogendoorn, S.P., Traffic simulation and data: Validation methods and applications (2014) *Traffic Simulation and Data: Validation Methods and Applications*, pp. 1-244. <http://www.tandfebooks.com/doi/book/10.1201/b17440> ISBN: 978-148222871-7; 978-148222870-0 doi: 10.1201/b17440.
8. Ghiasi, A., Hussain, O., Qian, Z.S., Li, X., A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method, (2017) *Transportation Research Part B: Methodological*, 106, pp. 266-292. www.elsevier.com/inca/publications/store/5/4/8/ doi: 10.1016/j.trb.2017.09.022.

Надійшла до редакції 29.05.2023.