

О. В. Прасоленко, В. А. Чумаченко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
Україна

ПОКАЗНИКИ РУХУ НА ПІДХОДАХ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ З УРАХУВАННЯМ ЗМІН СМУГ РУХУ ВОДІЯМИ

У статті розглянуто питання поводження водіїв при зміні смуг руху. В якості показника руху застосовано ентропію швидкості транспортного потоку. При ентропії швидкості потоку 3 двійкових одиниць і менше відбувається зменшення можливостей щодо маневрування і зміни смуг руху. Також розглянуто співвідношення змін смуг руху на основі інтенсивності та швидкості транспортного потоку.

Ключові слова: транспортний потік, зміна смуг руху, ентропія швидкості, поводження водіїв

Постановка проблеми

Сучасні транспортні проблеми міст характеризуються значним рівнем завантаження перехресть. Відомо багато методів підвищення ефективності організації дорожнього руху, що спрямовані на зменшення витрат часу, затримок руху викидів шкідливих речовин і ін. Відомі залежності співвідношень між характеристиками транспортного потоку враховують детермінований підхід. Проте, стохастичність руху транспортних засобів на підходах перехресть вказує на особливості поводження водіїв під час вибору та відповідно змін смуг руху. Існує певна частка змін смуг руху по відношенню до загального обсягу транспортного потоку яка дезорганізовує умови руху на підходах перехресть. Тому, питання вивчення цих закономірностей актуальне.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню закономірностей поводження водіїв під час зміни смуг руху приділено увагу в багатьох публікаціях [1-11]. Такі питання як вибір смуги, вплив параметрів руху під час зміни смуги на час до зіткнення розглядаються в контексті автономного водіння та безпеки руху. Так наприклад, неправильна зміна смуги руху може призвести до порушення транспортного потоку, зменшення пропускної спроможності [1] і збільшення ризику дорожньо-транспортних пригод [2].

Фактори реальної ситуації, що впливають на рішення щодо зміни смуги руху, в основному включають погоду, тип дороги, стан транспортного засобу, освітлення тощо. У багатьох дослідженнях останніх років використовувалися дані GPS і траєкторії руху індивідуальних транспортних

засобів. Моделі поведінки та фактори впливу під час зміни смуги детально висвітлені в роботі [3].

Автори роботи [4] досліджували відносну швидкість між смугами руху та відносний розрив між ними. Вони виявили, що відносний розрив між смугами має позитивний вплив на ймовірність зміни смуги руху. Відносна відстань і швидкість інших транспортних засобів впливають на прийняття рішень щодо зміни смуги руху більше, ніж швидкість власного транспортного засобу.

В роботі [5] проаналізували фактори, пов'язані зі швидкістю та дистанцією, у групах транспортних засобів, які змінюють смугу руху за власним бажанням. Під час процесу прийняття рішення про динамічну зміну смуги руху з'ясовано, що фактори, пов'язані зі швидкістю та дистанцією, мають динамічний та ігровий вплив на вибір смуги руху водієм.

В роботах розглядається зміна пропускної спроможності та швидкості руху під час маневрування та частих змін смуг руху водіями на магістралях швидкісного руху [6, 7].

За дослідженнями [8, 9] у міському дорожньому русі кількість змін смуги руху значно перевищує кількість дорожньо-транспортних пригод. Досліджуючи наслідки зміни смуги руху транспортного засобу, автори аналізували тяжкість дорожньо-транспортних пригод, спричинених транспортними засобами, що змінюють смугу руху. Затримка, спричинена дорожньо-транспортними пригодами внаслідок змін смуг руху автомобіля, пов'язана з часом розсіювання точки аварії. Або утворенням заторів на дорозі.

Ширина смуги також впливає на поведінку водіння. В роботі [10] автор запропонував механізм різних методів зменшення смуги руху (включаючи одностороннє та двостороннє) на характеристиках поведінки водіння шляхом моделювання та

пояснення ефекту зменшення смуги за допомогою теорії психологічного навантаження. Результати показали, що звуження смуг руху не тільки зменшувало швидкість руху, але й суттєво вплинуло на вибір бокового інтервалу до перешкод. Отже, автори вище зазначених робіт вивчали закономірності поведінки водіїв при зміні смуги руху в різних дорожніх ситуаціях. Проте, питання поведінки водіїв на підходах перехресть та вибір ними смуг руху маловивчена.

Формулювання мети статті

Метою дослідження є визначення показників руху на підходах регульованих перехресть з урахуванням змін смуг руху водіями. Для вирішення мети потрібно розглянути співвідношення між характеристиками дорожнього руху з урахуванням закономірностей поведінки водіїв під час зміни смуг руху на підходах регульованих перехресть. Пропонується в якості показника руху транспортних потоків застосувати ентропію швидкості руху, а в якості показника змін смуг руху – частку інтенсивності транспортного потоку, що змінює смуги руху по відношенню до загальної інтенсивності руху на підході перехрестя.

Виклад основного матеріалу

Транспортний потік змінюється у часі і просторі. Поведінка водія можливо визначити на основі розподілу миттєвих значень ентропії швидкості руху [11]:

$$H_m = \log_2 \left(\frac{V_{\max} - V_{\min}}{\sigma_V} \cdot \sqrt{M - 1} \right), \quad (1)$$

де H_m – максимальна ентропія швидкості транспортного потоку, дв.од., $V_{\max}$, $V_{\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення швидкостей відповідно; σ_V – середньоквадратичне відхилення швидкості, км/год., M – необхідна кількість замірів для забезпечення точності та надійності результатів.

З урахуванням забезпечення точності та надійності результатів дослідження розподілу швидкостей руху, формула (1) набуває вигляд [12]:

$$H_m = \log_2 \left[\frac{V_{\max} - V_{\min}}{\sigma_V} \cdot \sqrt{\frac{1,64 \cdot \sigma_V^2}{(0,1 \cdot \bar{V})^2} - 1} \right], \quad (2)$$

Для визначення параметрів розподілу швидкості можна скористатися наступними підходами. Перший підхід заснований на методі натурних досліджень, дозволяє отримати параметри

руху транспортних потоків. При цьому, можна отримати дані розподілу ентропії швидкості руху для різних ділянок вулично-дорожньої мережі, підходів перехресть. Проте, такий метод має значну похибку отриманих результатів та велику трудоемкість як виконання дослідження так і обробки даних. Наступний метод заснований на відеофіксації параметрів руху транспортних потоків також в подальшому вимагає застосування обліковців для статистичної обробки даних. Інший метод заснований на відеофіксації параметрів руху дозволяє розпізнавати різні види транспорту і визначати їх швидкість та положення у просторі, проте такий метод має значну вартість та використання його досить обмежено з урахуванням відеофіксації у просторі. Також можливо отримати параметри руху за допомогою приладів, якими обладнуються автомобілі. Такі дослідження дозволяють визначити особливості поведінки водіїв в різних дорожніх умовах та станах транспортного потоку [12].

Для визначення впливу параметрів руху транспортних потоків на поведінку водіїв в конфліктних зонах, було виконано дослідження на підходах перехресть з різною кількістю смуг руху. В цих місцях утворюються конфліктні зони. Конфлікти виникають під час зміни смуг руху водіями. Також особливо ці процеси спостерігаються по мірі накопичення довжини черги транспортного затору. Тобто конфліктні зони постійно змінюють своє положення у просторі. Крім того, часто на підходах перехресть можна спостерігати зміни смуг руху водіями які перебувають у черзі та намагаються її змінити, щоб скоротити час перебування у заторі. Відповідно такі дії водіїв викликають зміни швидкості руху на смугах.

Зміну смуг руху можна представити як відношення кількості змін смуг руху водіями до інтенсивності транспортного потоку.

Частку змін смуг руху визначали за формулою:

$$F = \frac{N_{LC}}{N}, \quad (3)$$

де F – частка зміни смуг руху водіями; N_{LC} – кількість змін смуг руху водіями, од.год; N – загальна кількість транспортних засобів од.год.

Експериментальні дослідження особливостей зміни смуг руху виконували на підходах перехресть з різною кількістю смуг руху та місцях утворення транспортних заторів. Для виконання дослідження залучались як обліковці так і водії транспортних засобів з високоточною апаратурою на основі системи GPS із відеофіксацією. Приклад реєстрації швидкісних характеристик із застосуванням ходової

лабораторії представлено на рис. 1. Під час експериментальних досліджень водіям надавалось завдання рухатись зі швидкістю транспортного потоку та виконувати прискорення та гальмування з іншими водіями з високою точністю повторюваності [11].

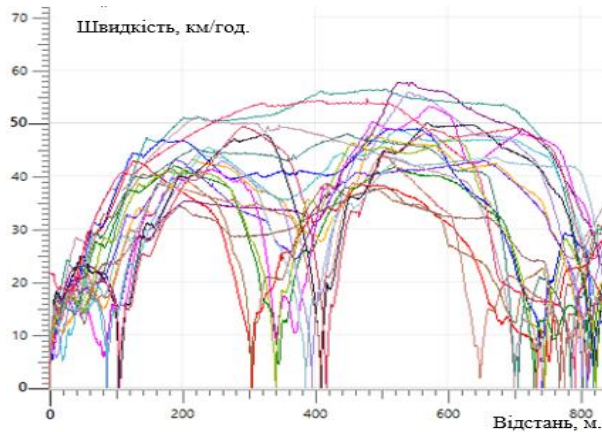


Рис. 1. Розподіл швидкості руху при виникненні зупинок в заторі

Дослідження виконувались на перехрестях міста Харкова з двома і більше смугами руху. В дослідженні було розглянуто 16 перехресть з магістральними вулицями загальноміського значення.

Результати досліджень

Ентропія швидкості транспортного потоку залежить від інтенсивності та швидкості потоку. Для визначення закономірності зміни ентропії було застосовано метод моделювання із застосуванням програмного забезпечення VISSIM. На рис. 2 представлено залежність ентропії швидкості потоку від середньої інтенсивності на смузі руху двосмугових вулиць.

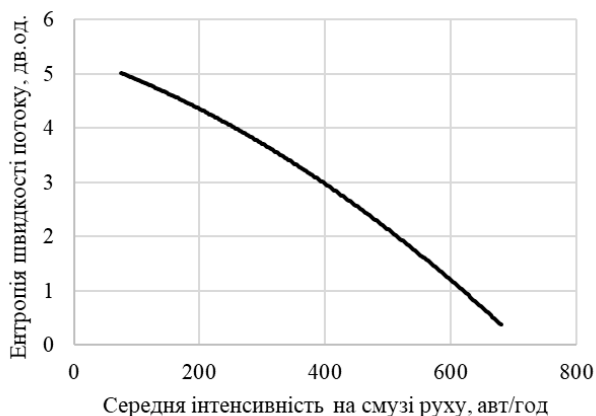


Рис. 2. Залежність ентропії швидкості потоку від середньої інтенсивності на смузі руху

синхронно з іншими автомобілями. Відомо, що водій здатний утримувати прискорення, вповільнення та швидкість руху

Інтенсивність та ентропія швидкості пов'язані між собою не лінійно. При низьких значеннях ентропії спостерігається велика інтенсивність руху, а при великих значеннях ентропії – не значна інтенсивність руху. На рис. 3. представлено залежність ентропії швидкості потоку від швидкості руху.

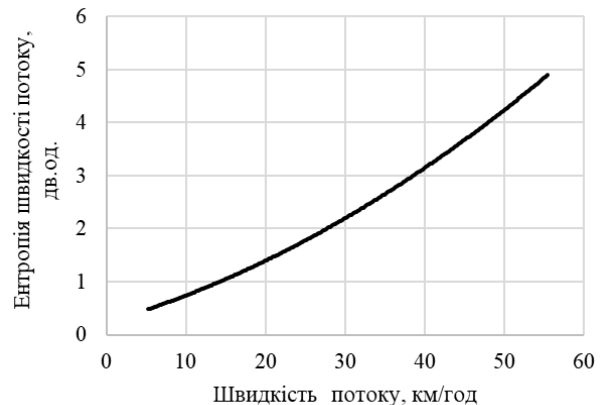


Рис. 3. Залежність ентропії швидкості потоку від швидкості руху

Отримані закономірності впливу швидкості та інтенсивності транспортного потоку на ентропію швидкості – вказують на доцільність використання ентропійного методу.

Виконані експериментальні дослідження на прикладі реальних перехресть, після статистичної обробки даних показали наступну тенденцію впливу змін смуг руху на ентропію швидкості транспортного потоку (рис.4). Як, видно, з графіку найбільша кількість змін смуг руху відбувається від значень ентропії швидкості транспортного потоку в межах 5-3 дв. од. Це пояснюється наявністю в транспортному потоці можливості маневрування та вільного обрання смуги руху. Проте, при значенні від 3 дв. од. можливості суттєво зменшуються, транспортний потік має щільність яка наближається до максимальної. Крім того зміна ентропії швидкості потоку від частки зміни смуг руху вказує на співвідношення між швидкістю та інтенсивністю транспортного потоку.

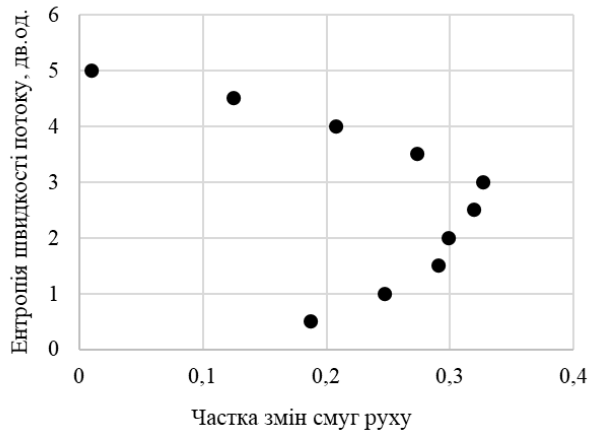


Рис. 3.1. Залежність ентропії швидкості потоку від частки зміни смуг руху

Висновки

Частка зміни смуг руху змінюється не лінійно відносно ентропії швидкості транспортного потоку. Зміни смуг руху водіями можливі лише за умов швидкості та відповідної інтенсивності руху. При ентропії швидкості потоку 3 дв. од. відбувається зменшення можливостей щодо маневрування, а отже і зміни смуг руху. При цьому, відповідно до даних моделювання в середовищі VISSIM відбуваються зменшення швидкості транспортного потоку та відповідно збільшується середня інтенсивність руху. Це вказує, що транспортний потік переходить до стану затору. Ці дослідження вказують на необхідність урахування змін смуг руху водіями відповідно до дорожніх умов та засобів організації дорожнього руху. Врахування даного підходу дозволить визначати місця на вулично-дорожній мережі, де потрібно засобами організації дорожнього руху зменшувати вплив змін смуг руху на пропускну здатність перехрестя.

References

- Ahn, S., Laval, J., & Cassidy, M. J. (2010). Effects of merging and diverging on freeway traffic oscillations: theory and observation. *Transportation research record*, 2188(1), 1-8.
- Pande, A., & Abdel-Aty, M. (2006). Assessment of freeway traffic parameters leading to lane-change related collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 38(5), 936-948.
- Yang, M., Wang, X., & Quddus, M. (2019). Examining lane change gap acceptance, duration and impact using naturalistic driving data. *Transportation research part C: emerging technologies*, 104, 317-331.

- Chen, T., Shi, X., & Wong, Y. D. (2019). Key feature selection and risk prediction for lane-changing behaviors based on vehicles' trajectory data. *Accident Analysis & Prevention*, 129, 156-169.
- Li, Y., Gu, R., Lee, J., Yang, M., Chen, Q., & Zhang, Y. (2021). The dynamic tradeoff between safety and efficiency in discretionary lane-changing behavior: A random parameters logit approach with heterogeneity in means and variances. *Accident Analysis & Prevention*, 153, 106036.
- Sun, D., & Kondyli, A. (2010). Modeling vehicle interactions during lane-changing behavior on arterial streets. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25(8), 557-571.
- Deng, S. J., Zhong, Y. Y., Ye, X. F., Chen, J., & Bai, H. (2019). Traffic flow model in urban section based on the effect of vehicle lane change. *J. Chong Qing Univ.(Nat. Sci.)*, 38(4), 106-115.
- Zheng, Z., Ahn, S., & Monsere, C. M. (2010). Impact of traffic oscillations on freeway crash occurrences. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 626-636.
- Talebpour, A., Mahmassani, H. S., & Hamdar, S. H. (2015). Modeling lane-changing behavior in a connected environment: A game theory approach. *Transportation Research Procedia*, 7, 420-440.
- Wei, W. H. (2020). Influence of lane reduction on driving behavior characteristics under multi-factor interaction. *J. Chang'an Univ. Nat. Sci. Ed*, 40, 117-128.
- Prasolenko, O., Lobashov, O., Bugayov, I., Gyulyev, N., & Filina-Dawidowicz, L. (2019, June). Designing the conditions of road traffic in the cities taking into account the human factor. In 2019 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS) (pp. 1-8). IEEE.
- Prasolenko, O., Burko, D., Tkachenko, I., & Chumachenko, V. (2023, June). Driver Behavior in Complicated Road Infrastructure. In *International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering* (pp. 285-296). Cham: Springer Nature Switzerland.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., Гюлев Н. У., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Автор: ПРАСОЛЕНКО Олексій Володимирович
кандидат технічних наук, доцент.
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – prasolenko@gmail.com

ID IRCID: <https://orcid.org/0000-0001-7248-9915>

Автор: ЧУМАЧЕНКО Віталій Анатолійович
аспірант кафедри транспортних систем і логістики
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – Vitalii.Chumachenko@kname.edu.ua

ID IRCID: <https://orcid.org/0000-0002-0188-9740>

TRAFFIC INDICATORS ON APPROACHES TO REGULATED INTERSECTIONS TAKING INTO ACCOUNT THE LANE CHANGES OF TRAFFIC BY DRIVERS

O. Prasolenko, V. Chumachenko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Modern transport problems of cities are characterized by a significant level of congestion at intersections. There are many known methods of increasing the efficiency of traffic management aimed at reducing time spent, traffic delays, emissions of harmful substances, etc. The known dependencies of the ratios between the characteristics of the traffic flow

take into account the deterministic approach. However, the stochasticity of the movement of vehicles on the approaches to intersections indicates the peculiarities of the behavior of drivers during the selection and, accordingly, changes of traffic lanes. There is a certain share of changes in traffic lanes in relation to the total volume of traffic flow, which disorganizes traffic conditions at intersection approaches. Therefore, the question of studying these regularities is relevant.

The article considers the issue of driver behavior when changing traffic lanes. The entropy of the traffic flow speed is used as a motion indicator. The ratio of traffic lane changes based on the intensity and speed of the traffic flow is considered. In order to determine the influence of traffic flow parameters on driver behavior in conflict zones, a study was conducted on approaches to intersections with different numbers of traffic lanes. Conflict zones are formed in these places. Conflicts arise when drivers change traffic lanes and choose them. Also, these processes are especially observed as the length of the traffic jam queue accumulates. That is, conflict zones are constantly changing their position in space. In addition, lane changes can often be observed on approaches to intersections by drivers in the queue, who are trying to change the lane in order to reduce the time spent in the traffic jam. Accordingly, such actions of drivers cause changes in the speed of movement. In order to determine the influence of traffic flow parameters on driver behavior in conflict zones, a study was conducted on approaches to intersections with different numbers of traffic lanes. Conflict zones are formed in these places. Conflicts arise when drivers change traffic lanes and choose them. The entropy of the speed of movement was used as an indicator of the movement of traffic flows, and the part of the intensity of the traffic flow changing the traffic lanes in relation to the total traffic intensity on the approach to the intersection was used as an indicator of changes in traffic lanes. The part of the change of traffic lanes does not change linearly in relation to the entropy of the speed of the traffic flow. Changes in traffic lanes by drivers are possible only at the speed and the corresponding traffic intensity. With the entropy of the speed of the flow of 3 units, there is a decrease in the possibilities of maneuvering, and, consequently, changes in traffic lanes. The greatest number of changes in traffic lanes occurs from the values of the entropy of the speed of the traffic flow within 5-3 units. This is explained by the presence in the traffic flow of the possibility of maneuvering and choosing a traffic lane.

key words: traffic flow, lane change, speed entropy, driver behavior