

О. В. Прасоленко, В. А. Чумаченко

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ СМУГИ РУХУ З УРАХУВАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ

У статті розглянуто питання закономірностей зміни смуги руху з урахуванням функціонального стану водія. Було досліджено поведінку водіїв при зміні смуг руху на магістральних вулицях загальноміського значення з одночасною реєстрацією функціонального стану. В критичних конфліктах при зміні смуги руху витрати енергії водієм зростали до 4,7 Ккал/хв а зовнішнє емоційного напруження до 3,2 відносних одиниць.

Ключові слова: транспортний потік, зміна смуг руху, витрати енергії, функціональний стан

Постановка проблеми

Рух транспортних потоків у містах вимагає високого рівня організації та безпеки дорожнього руху. Роль транспортної інфраструктури при цьому є дуже важливою. Аналіз кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП) у містах у порівнянні з кількістю автомобілів вказує, що проблема забезпечення безпеки руху вимагає впровадження ефективних заходів з організації та регулювання дорожнього руху в конфліктних зонах транспортної інфраструктури [1]. Між кількістю конфліктних ситуацій і ДТП як відомо існує висока кореляційна зв'язок. Цей факт можна використовувати для аналізу умов руху та виявлення конфліктних зон транспортної інфраструктури. Найбільша проблема виникнення конфліктів полягає в зміні та виборі смуги руху водіями. Також виникає питання, що відчуває водій і як його поведінка впливає на його функціональний стан в таких ситуаціях? Крім того, існуючі методи оцінки безпеки дорожнього руху враховують тільки характеристики транспортного потоку і дорожніх умов. Однак причини виникнення ДТП вказують на роль людського фактора в дорожньому русі. Тому виникає питання, як зміни смуги руху в конфліктних ситуаціях впливають на енерговитрати водія та його нервово-емоційну напруженість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Причини ДТП по з вини водіїв такі як: неправильний вибір відстані, швидкість руху або помилковий прогноз розвитку дорожньо-транспортної ситуації в конфліктних зонах транспортної інфраструктури вимагають особливої уваги [2]. В процесі взаємодії водій витрачає психічну і фізичну енергію. Доцільно зменшити ці

витрати, допомогти водієві реалізовувати цільову діяльність оптимальним чином за рахунок раціонального вибору середовища руху, які включають в себе як параметри дороги, так і параметри транспортних потоків.

Під емоційною напругою розуміється стан, що вказує на наявність стресу. Емоційне напруження має місце в зв'язку з конкретними вольовими актами, з активною цілеспрямованою діяльністю або підготовкою до неї, а також з очікуванням будь-якою діяльністю або небезпеки [3]. Емоційне напруження характеризується тимчасовим зниженням працездатності. Емоційне напруження являє собою процеси регулювання за рахунок активності симпатичного відділу нервової системи, тобто стан напруженості вказує на певні зміни в функціональному стані водія. В організмі людини відбуваються певні здвиги, такі як зміна частоти серцебиття (ЧСС) та її варіабельності, зміна шкірно-гальванічної реакції (ШГР), зміна частоти та глибини подиху [3-5].

ШГР основана на провідності шкіри, яка в основному вказує на здатність шкіри проводити електрику, завдяки чому провідність збільшується, якщо шкіра спітніла. Під час фізичного збудження центральна нервова система активується, а піт виробляється в ендокринних залозах, що помітно змінює провідність шкіри [7]. ШГР складається з повільно мінливої частини, яка називається рівнем провідності шкіри.

Вимірювання ЧСС – це поширений метод визначення фізичної активності та стану тіла. ЧСС відображає загальну активність вегетативної нервової системи, ці зміни активності є відповідним індикатором стану та настрою людини. При стресі частота серцевих скорочень збільшується. Варіабельність серцевого ритму (ВСР) отримується

на основі даних ЧСС. Фактично, це міра зміни часу між кожним ударом серця.

Частота дихання (ЧД) – це кількість дихальних циклів, виконаних людиною за одну хвилину. У разі аномальних станів, певного настрою чи фізичного стану може бути зареєстровано збільшення частоти дихання [7]. Дані моніторингу частоти дихання також містять корисну інформацію про емоційні стани. Швидкість і глибина дихання зазвичай залежить від емоцій людини: глибоке і швидке дихання показує збудження, що супроводжується емоціями щастя, гніву чи страху. Поверхнєве та прискорене дихання свідчить про напругу. У розслаблених людей часто буває глибоке та повільне дихання. Поверхнєве та повільне дихання вказує на спокійний стан чи навпаки стан втоми. Нормальна частота дихання у спокійному стані становить близько 20 разів на хвилину, тоді як у збудженому стані вона може досягати 40-50 разів на хвилину [6]. У водія частота дихання змінюється при появі небезпеки на дорозі. При цьому кількість дихальних циклів збільшується а глибина подиху зменшується [7].

Вивчення впливу дорожніх умов та режимів праці водіїв вивчалось дослідниками стосовно витрат енергії. Автор роботи зазначає що дорожні умови та їх складність мають певний вплив на зміну енергетичних витрат при праці водія [3]. Основними чинниками, що впливають на зміну витрат енергії є початковий функціональний стан, темп руху та дорожні умови. Дослідження впливу вібрацій на показники зміни функціонального стану та енерговитрат пов'язані з мазевим зусиллям водія під час руху по бездоріжжю, так як водій намагається міцніше тримати рульове кермо. Проте встановлено, що з часом руху водій звикає до таких умов.

Отже на витрати енергії впливають інтенсивність руху, дорожні умови, поведіння водія під час взаємодії з факторами дорожньої обстановки, вибір швидкості руху, наявність стресового стану перед початком руху і ін. Дослідження вказують, що межі змін витрат енергії водія досить значні від 9,2 до 27,6 кДж/хв.[8].

Особливу увагу слід приділити зміні витрат енергії що пов'язані зі стресовими станами водія. Під час небезпеки водій повинен вчасно зреагувати та виконати певні дії з маневрування чи гальмування або прискорення. Якщо водій знаходиться в стані стресу то час реакції його збільшується в декілька разів, при цьому проявляється високий рівень активності симпатичного відділу нервової системи. Сьогодні для аналізу небезпеки використовуються різні методи дослідження. Ці методи враховують ступінь небезпеки, кількісний та якісний аналіз подій що трапились. Для визначення параметрів конфліктних ситуацій при зміні смуг руху

застосовують різні підходи, які засновані на виникненні негативних прискорень та мінімального часу до зіткнення. Зміна смуги руху вимагає від водія вибір потрібного інтервалу з урахуванням швидкості руху часу реакції стану дорожнього покриття і ін. [9-11]

Формулювання мети статті

Метою дослідження є визначення закономірностей зміни смуги руху з урахуванням функціонального стану водія. Для цього в роботі досліджено закономірності зміни смуг руху у часі з використанням системи GPS. Визначені закономірності зміни частоти зовнішнього дихання, частоти серцебиття, шкірно-гальванічної реакції при виникненні стресових станів в конфліктних ситуаціях.

Виклад основного матеріалу

Функціональний стан організму водія оцінювали за результатами реєстрації ЕКГ, електропневмограми і ШГР за методом Фере. Для запису ЕКГ використовували холтер-монітор з електродами, для запису ШГР використовували Neulog GSR, електропровідність шкіри водія вимірювали на кінцівках рук. В якості основних характеристик функціонального стану організму водія використовувалися показники стану серцево-судинної системи: середня і миттєва частота серцебиття, варіаційні характеристики пульсу і дихання, середня амплітуда ШГР при потраплянні в дорожні конфлікти.

Витрачену кількість енергії водієм (Ккал/хв.) визначали за формулою [3]:

$$E = 0,075 \cdot C \cdot S, \quad (1)$$

де E – енергія, яку витрачає водій під час руху, Ккал/хв; C – параметри дихання водія, цикл/хв; S – площа тіла водія; 0,075 – коефіцієнт пропорційності.

Здвиг частоти серцебиття визначали за формулою:

$$\Delta F = \frac{F - F_0}{F_0} \cdot 100, \quad (2)$$

де ΔF – здвиг частоти серцебиття водія, %, F – серцебиття водія під час потрапляння в конфліктну ситуацію, уд./хв., F_0 – серцебиття водія зранку (фоновий стан).

Зміну емоційного напруження визначали за формулою:

$$\Delta GSR = \frac{GSR}{GSR_0}, \quad (3)$$

де ΔGSR – здвиг емоційного напруження, Мксм; GSR – емоційне напруження водія під час потрапляння в конфліктну ситуацію, GSR_0 – емоційне напруження водія перед поїздкою.

Здвиги ЕКГ, ШГР, ЧД під час експериментальних досліджень фіксувались в небезпечних ситуаціях під час руху водіїв при зміні смуг руху, гальмуванням перед перешкодами. В експерименті брали участь водії віком від 21 до 42 років. Водії з приєднаний до реєструючої апаратури постійно змінював смуги руху після вказівки інструктора. Мета експерименту була в тому, щоб визначити допустимі прискорення, а отже і прийняті інтервали для зміни смуг руху водіями при задовільних здвигах функціонального стану. Для реєстрації параметрів прискорення використовували прилад «gacelogic». Схема зміни смуг руху представлена на рис. 1.

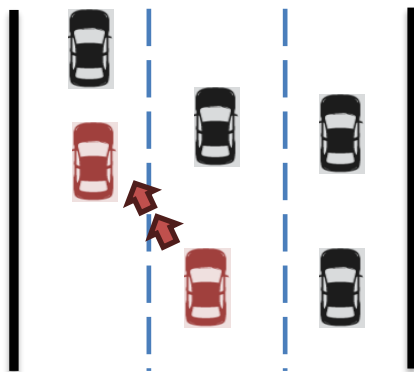


Рис. 1. Схема зміни смуги руху водієм

Показником наявності конфліктної ситуації будемо вважати стани небезпеки, що пов'язані з діями водія під час зміни смуги руху. Розглянемо конфліктні ситуації трієх видів: не значна, середня, критична. Конфліктна не значна ситуація, виникає коли небезпека для водія зрозуміла на досить великій відстані від зони конфлікту, водій має можливість вчасно оцінити поведінку інших учасників руху та змінити смугу руху. Середня – за наслідками характеризує несподіваною появою небезпеки, або помилками в оцінці ситуації, що складалася. Критична ситуація виникає при умові, коли водій може запобігти ДТП лише при максимально швидкій реакції на короткій ділянці дороги. Ступінь небезпеки кожної конфліктної ситуації характеризується небезпечними поздовжніми і поперечними прискореннями (табл. 1).

Таблиця 1

Критерії конфліктних ситуацій [2]

Критерій конфліктної ситуації	Ступінь небезпеки		
	Не значна	Середня	Критична
Продольне прискорення, m/s^2	1,7 – 2,79	2,8 – 3,89	>3,9
Поперечне прискорення, m/s^2	1,0 – 1,29	1,3 – 1,69	>1,7
Комбіноване G	0,1 – 0,3	0,31–0,42	>0,43

Методом простим і ефективним для дослідження конфліктів є використання індивідуального автомобіля з реєструючою апаратурою. Для дослідження параметрів руху по маршруту, ми використовували прилад gacelogic «VideoVbox». Даний прилад використовує систему GPS та дозволяє в режимі реального часу синхронно з відео фіксацією виконувати запис швидкості, прискорення, координат пересування, траєкторій і інших параметрів з точністю до двох знаків після коми.

Застосовуючи критерії оцінки конфліктних ситуацій під час зміни смуг руху було виконано експериментальні дослідження на магістральних вулицях загальноміського значення.

Результати досліджень

На першому етапі дослідження були отримані результати часу зміни смуги руху водіями при різних характеристиках руху. Як правило, зміна смуги руху виконувалася за умови зазору безпеки (інтервалу часу, коли існував проміжок між транспортними засобами в сусідній смузі руху) тоді водій виконував зміну смуги руху за певний проміжок часу. Зміна смуги руху водієм виконувалося суворо за умови безпечного виконання. Якщо, умови характеризувалися як небезпечні, водій не виконував маневр зі зміни смуги руху. Використовуючи реєструючу апаратуру було встановлено скільки часу водій витрачає на зміну смуги руху. Швидкість руху становила від 40 до 50 км/год. Результати досліджень представлені на рис. 2 показують, що найчастіше водій витрачав 2,5 сек. В інших випадках коли час був більшим або меншим, це було пов'язано з умовами виконання зміни смуги руху, а також безпекою руху.

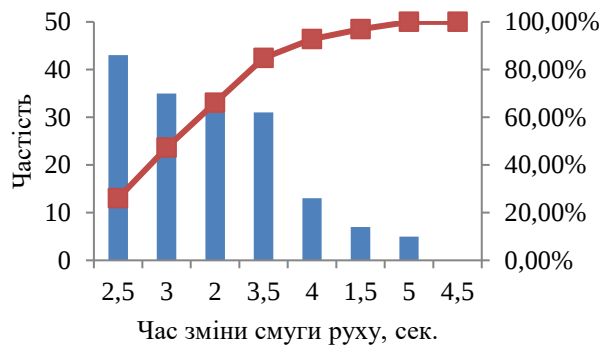


Рис. 2 Частість витрат часу на зміну смуги руху

Що характерно коли водієві необхідно було змінити смугу руху, реакцією у відповідь завжди була зміна GSR, тобто водій виконував свідому дію по зміні смуги руху. Таким чином у водія утворювався мотив, як швидко виконати зміну смуги руху. Це залежало від швидкості транспортного потоку і емоційної напруги водія. Крім того, чим швидше і різкішим був маневр зміни смуги руху, тим більше було зрушення частоти серцебиття і частоти дихання. Таким чином, водій виконуючи маневр зі зміни смуги руху, керуючись своїми цілями (вибір напрямку руху на перехресті, вибір вільної смуги руху, обгін транспортного засобу з меншою швидкістю руху попереду) здійснював цілеспрямовану діяльність по реалізації своєї потреби. Зрушення GSR (рис. 3), частоти серцебиття, витрат енергії (рис.4) вказують що чим менше водії витрачають часу на зміну смуги руху, і тієї ситуації, яка його спонукала до маневру, тим більше емоційна напруга.

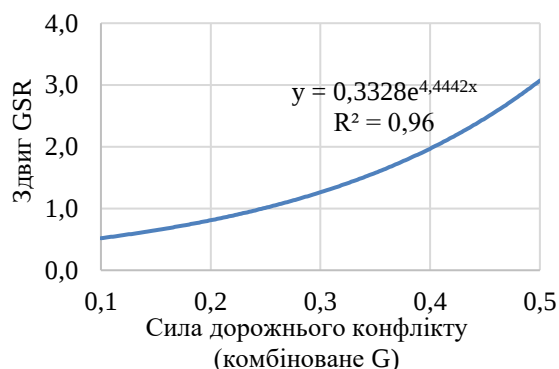


Рис. 3 Залежність зміни GSR від сили конфліктної ситуації

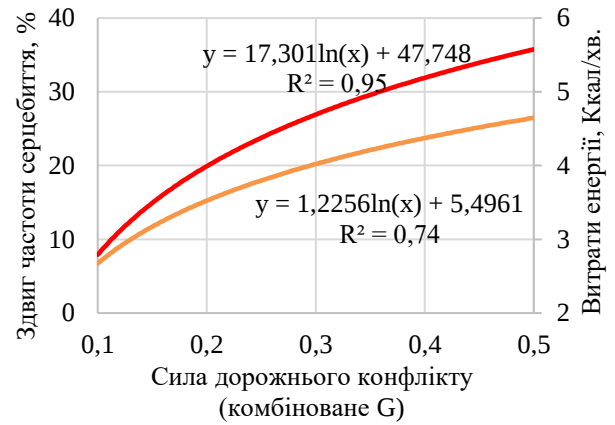


Рис. 3.1. Залежність зміни GSR від сили конфліктної ситуації

Висновки

В статті розглянуто питання оцінки безпеки руху в місцях виникнення конфліктних ситуацій транспортної інфраструктури. Конфліктними зонами транспортної інфраструктури вважаються місця, де у водіїв немає можливості уникнути дорожньо-транспортної пригоди (ДТП), якщо не буде виконано маневр з гальмування чи прискорення руху. У результаті дій водія по маневру або гальмуванню виникають критичні продольні і поперечні прискорення, виникає конфліктна ситуація. Кожна конфліктна ситуація має свої характеристики. Запропоновано використовувати взаємний вплив продольного та поперечного прискорення для визначення сили конфліктної ситуації. Запропоновано в якості сили конфлікту застосовувати «комбіноване прискорення», визначене за взаємним впливом продольного і поперечного прискорення під час дії конфлікту. Кількісно обґрунтовано вплив сили конфліктної ситуації на енерговитрати водія та здви́г шкірно-гальванічної реакції, яка характеризує емоційне напруження водія. В критичних дорожніх конфліктах витрати енергії водієм зростали до 4,7 Ккал/хв а здви́г емоційного напруження до 3,2 од. В роботі представлено підхід для визначення емоційного напруження водія на основі енергетичних витрат, здви́гу частоти серцебиття, здви́гу шкірно-гальванічної реакції при потраплянні в дорожні конфлікти. Для визначення дорожніх конфліктів застосовано систему реєстрації параметрів руху автомобіля на основі GPS, яка дозволяє реєструвати швидкість, продольне і поперечне прискорення з частотою 10 од. за секунду.

References

1. Xu, C., Wang, X., Yang, H., Xie, K., & Chen, X. (2019). Exploring the impacts of speed variances on safety performance

of urban elevated expressways using GPS data. Accident Analysis & Prevention, 123, 29-38.

2. Prasolenko, O., Burko, D., Tkachenko, I., & Chumachenko, V. Driver Behavior in Complicated Road Infrastructure. In International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering . Cham: Springer Nature Switzerland. 2023. P. 285-296.

3. Prasolenko, O., Burko, D., & Chumachenko, V. Changing Drivers' Cognitive Characteristics at Twilight in Freight Transportation. In International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering. 2023. P. 683-694.

4. Rossi, R., Gastaldi, M., & Gecchele, G. (2011). Analysis of driver task-related fatigue using driving simulator experiments. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 20, 666-675.

5. Taylor, D. H. (1964). Drivers' galvanic skin response and the risk of accident. Ergonomics, 7(4), 439-451.

6. Yoo, Y. K., & Shin, H. C. (2022). Movement compensated driver's respiratory rate extraction. Applied Sciences, 12(5), 2695.

7. Yang, F., He, Z., Guo, S., Fu, Y., Li, L., Lu, J., & Jiang, K. (2020). Non-contact driver respiration rate detection technology based on suppression of multipath interference with directional antenna. Information, 11(4), 192.

8. Studer, L., Paglino, V., Gandini, P., Stelitano, A., Triboli, U., Gallo, F., & Andreoni, G. (2018). Analysis of the Relationship between Road Accidents and Psychophysical State of Drivers through Wearable Devices. Applied Sciences, 8(8), 1230.

9. Goncalves, R. C., Louw, T. L., Madigan, R., Quaresma, M., Romano, R., & Merat, N. (2022). The effect of information from dash-based human-machine interfaces on drivers' gaze patterns and lane-change manoeuvres after conditionally

automated driving. Accident Analysis & Prevention, 174, 106726. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106726> (in English).

10. Yamina, H., Mébarek, D., Mohammed, B., & Saadia, S. (2023). Contribution to the analysis of driver behavioral deviations leading to road crashes at work. IATSS Research.

11. Ataelmanan, H., Puan, O. C., & Hassan, S. A. (2021, May). Examination of lane changing duration time on expressway. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1144, No. 1, p. 012078). IOP Publishing.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Галкін А. С. 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 ORCID: <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 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0188-9740>

RESEARCH OF LANE CHANGE PATTERNS TAKING INTO ACCOUNT OF THE DRIVER'S FUNCTIONAL STATE

O. Prasolenko, V. Chumachenko

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

The article considers the issue of assessing traffic safety in places of conflict situations of transport infrastructure. Conflict zones of transport infrastructure are considered to be places where drivers have no opportunity to avoid a traffic accident (traffic accident) unless a braking or acceleration maneuver is performed. As a result of the driver's actions during maneuver or braking, critical longitudinal and transverse accelerations occur, and a conflict situation arises. Each conflict situation has its characteristics. It is proposed to use the mutual influence of longitudinal and transverse acceleration to determine the strength of the conflict situation. Experimental studies of the influence of road conflicts on the functional state of the driver (change in respiratory rate, skin conductivity) showed the relationship between the strength of the conflict situation and the driver's energy expenditure after getting into danger and performing actions. The influence of mild, moderate and critical conflicts was considered, with a distinction based on deceleration parameters. It is proposed to use the "combined acceleration" as the force of the conflict, determined by the mutual influence of longitudinal and transverse acceleration during the conflict. The influence of the force of the conflict situation on the driver's energy expenditure and the shift of the skin-galvanic reaction, which characterizes the driver's emotional stress, is quantitatively substantiated. In critical road conflicts, the driver's energy expenditure increased to 4.7 Kcal/min and the shift of emotional stress to 3.2 units. The paper presents an approach to determining the driver's emotional stress based on energy expenditure, heart rate shift, and skin-galvanic reaction shift when getting into road conflicts. To determine road conflicts, a GPS-based vehicle motion parameters registration system was used, which allows recording speed, longitudinal and transverse acceleration with a frequency of 10 units per second. As a rule, lane changes were performed under the condition of a safety gap (the time interval when there was a gap between vehicles in the adjacent lane), then the driver performed the lane change within a certain period. The driver performed the lane change strictly under the condition of safe execution. If the conditions were characterized as dangerous, the driver did not perform the lane change maneuver. Using the recording equipment, it was determined how much time the driver spent on changing lanes. The speed of movement was from 40 to 50 km/h. In other cases, when the time was greater or less, this was due to the conditions for performing the lane change, as well as traffic safety. What is characteristic is that when the driver needed to change the lane, the response was always a change in GSR, that is, the driver performed a conscious action to change the lane. Thus, the

driver formed a motive for how to quickly change the lane. This depended on the speed of the traffic flow, and the emotional stress of the driver. In addition, the faster and sharper the lane change maneuver, the greater the shift in heart and respiratory rates. Thus, the driver, performing the lane change maneuver, guided by his goals (choosing the direction of movement at the intersection, choosing a free lane, overtaking a vehicle with a slower speed in front), carried out purposeful activity to realize his need. Shifts in galvanic skin response, heart rate, energy expenditure indicate that the less time drivers spend on changing lanes, and the situation that prompted them to the maneuver, the greater the emotional stress.

key words: traffic flow, lane change, energy consumption, functional state