

УДК 656.13+612.821

DOI: 10.15587/2312-8372.2020.191275

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОРОЖНИХ ЗАТОРІВ НА РІВЕНЬ ВТОМИ ВОДІЯ-САНГВІНІКА

Гюлев Н. У., Прасоленко О. В., Літомін Е. В., Зінченко Д. Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗАТОРОВ НА УРОВЕНЬ УТОМЛЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ-САНГВИННИКА

Гюлев Н. У., Прасоленко А. В., Литомин Е. В., Зинченко Д. Ю.

STUDY OF THE INFLUENCE OF ROAD CONGESTION ON THE FATIGUE LEVEL OF A SANGUINE DRIVER

Gyulyev N., Prasolenko O., Litomin E., Zinchenko D.

Об'єктом дослідження є процес трудової діяльності водія на міських дорогах в транспортній системі міста під час перевезення вантажів і пасажирів. Досліджено вплив дорожніх заторів на функціональний стан водія-сангвініка, що є одним з найпоширеніших типів температури. Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що рівень втоми водія в дорожньому заторі, який впливає на час реакції водія і на безпеку дорожнього руху, залежить від стану водія і параметрів затору. Рівень втоми водія визначається, виходячи з концепції про серцево-судинну систему, як індикатора адаптаційно-приспосувальної діяльності організму шляхом вимірювання електрокардіограми. При цьому аналізується нерівномірність кардіоінтервалів, що є універсальною реакцією на будь-які види навантаження. Рівень втоми обчислюється в умовних одиницях за спеціальним алгоритмом, що враховує статистичні показники, показники гістограми та дані спектрального аналізу кардіоінтервалів. За допомогою нелінійної моделі зміни функціонального стану водія-сангвініка отримані закономірності зміни рівня його стомлення при різних умовах перебування в транспортному заторі. Виявлено, що найбільш значущим чинником, який впливає на кінцевий рівень втоми водія в заторі, є його початкове значення перед затором. Другим за важливістю параметром, що впливає на зміну рівня втоми водія-сангвініка, є тривалість транспортного затору, яка впливає на вихідну функцію тільки спільно з початковим рівнем втоми. Вплив віку водія-сангвініка на рівень втоми в заторі проявилось в меншій мірі. Однак умови перебування в дорожньому заторі найбільш відчутно впливають на водіїв більш старшого віку (шістдесят і більше років) в порівнянні з молодими водіями двадцяти років. Аналіз результатів досліджень показав, що затори тривалістю понад дванадцять хвилин призводять до значного зростання рівня втоми водія-сангвініка. Це може привести до підвищення ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди. Тенденції змінювання

рівня втомі водія-сангвініка в заторі, виявлені в ході дослідження, дозволяють прогнозувати поведінку водія після виходу з дорожнього затору і оцінити можливі схеми розвитку дорожньо-транспортної ситуації, які безпосередньо впливають на безпеку дорожнього руху.

Ключові слова: дорожній затор, рівень втомі, темперамент, водій-сангвінік, безпека дорожнього руху.

Объектом исследования является процесс трудовой деятельности водителя на городских дорогах в транспортной системе города при перевозке грузов и пассажиров. Исследовано влияние дорожных заторов на функциональное состояние водителя-сангвинника, являющегося одним из самых распространенных типов темперамента. Основная гипотеза исследования состоит в том, что уровень утомления водителя в дорожном заторе, который влияет на время реакции водителя и на безопасность дорожного движения, зависит от состояния водителя и параметров затора. Уровень утомления водителя определяется исходя из концепции о сердечно-сосудистой системе, как индикаторе адапционно-приспособительной деятельности организма путем измерения электрокардиограммы. При этом анализируется неравномерность кардиоинтервалов, являющаяся универсальной реакцией на любые виды нагрузки. Уровень утомления исчисляется в условных единицах по специальному алгоритму, учитывающий статистические показатели, показатели гистограммы и данные спектрального анализа кардиоинтервалов. С помощью нелинейной модели изменения функционального состояния водителя-сангвинника получены закономерности изменения уровня его утомления при различных условиях пребывания в транспортном заторе. Выявлено, что наиболее значимым фактором, оказывающим влияние на конечный уровень утомления водителя в заторе, является его начальное значение перед затором. Вторым по важности параметром, влияющим на изменение уровня утомления водителя-сангвинника, является продолжительность транспортного затора, которая влияет на выходную функцию только совместно с начальным уровнем утомления. Влияние возраста водителя-сангвинника на уровень утомления в заторе проявилось в меньшей степени. Однако условия пребывания в дорожном заторе наиболее ощутимо влияют на водителей более старшего возраста (шестьдесят и более лет) по сравнению с молодыми водителями двадцати лет. Анализ результатов исследований показал, что заторы длительностью более двенадцати минут приводят к значительному росту уровня утомления водителя-сангвинника. Это может привести к повышению вероятности совершения дорожно-транспортного происшествия. Тенденции изменения уровня усталости водителя-сангвинника в пробке, выявленные в ходе исследования, позволяют прогнозировать поведение водителя после выхода из дорожного затора и оценить возможные схемы развития дорожно-транспортной ситуации, которые непосредственно влияют на безопасность дорожного движения.

Ключевые слова: дорожный затор, уровень утомления, темперамент, водитель-сангвинник, безопасность дорожного движения.

1. Вступ

Випереджаючі темпи зростання рівня автомобілізації в порівнянні з розвитком вулично-дорожньої мережі сучасних міст призводять до утворення черг та заторів на перехрестях і ділянках доріг. Перебування в заторі накладає на водія певні обмеження в його діяльності. Транспортні затори не тільки знижують швидкість пересування водіїв і пасажирів, переміщення вантажів, погіршують екологічний стан міста, а й негативно відбиваються на психофізіології водія, погіршуючи його функціональний стан [1].

Поняття «функціональний стан» характеризує ефективну сферу діяльності людини. Змінювання функціонального стану водія впливає на ступінь його втомлюваності і, як наслідок, на безпеку руху [2].

В роботі [1] автор досліджував вплив умов роботи, особистісних якостей водія і його психофізіологічного стану на надійність роботи. Найбільш значними факторами, що впливають на динаміку розвитку втоми, є інтенсивність руху і монотонні умови роботи. Було встановлено, що надійність роботи водія залежить від рівня його емоціональної напруги. В якості вимірювача рівня напруги обрана частота серцевих скорочень. А в роботі [3] аналізується вплив транспортних заторів на психовегетативний статус водіїв громадського транспорту з урахуванням віку і стажу роботи. Ці дослідження проведені за допомогою анкет шляхом опитування. В роботі [4] підкреслена негативна роль дорожніх заторів та досліджується механізм заторів у міській дорожній мережі. В роботі же [5] вперше досліджується проблема вибору функції для прогнозування заторів на дорогах. Запропоновано новий метод оцінки ймовірності виникнення пробок для вирішення багатовимірних обчислень за багатьма одновимірним можливостям і їх комбінацій. Однак, в усіх вище згаданих роботах не досліджувався вплив заторів на рівень втоми водія. Так, в роботі [6] досліджено взаємозв'язок між заторами і настроєм, а також поведінкою водія. А у роботах [7, 8] запропоновано методи боротьби з заторами. Але в них також не досліджені питання зміни стану водіїв.

Автори роботи [9] відзначили, що проблема пробок на міських дорогах є дуже актуальною, тому розглядали формування заторів, особливо на міських дорогах, де час реакції водія також впливає на розмір заторів. В роботі [10] відзначена негативна роль заторів на дорогах. Розглянуто модель поведінки водія, яка дозволяє прогнозувати появу заторів. Проте, як впливають затори на стан водія і рівень його стомлення в цих роботах не розглянуто.

Таким чином, дослідження зміни рівня втоми водія-сангвініка в умовах заторів є актуальною. Тому *об'єктом дослідження* є процес трудової діяльності водія на міських дорогах в транспортній системі міста під час перевезення вантажів і пасажирів. А *мета дослідження* полягає у визначенні закономірностей зміни рівня втоми водія-сангвінік в умовах заторів.

2. Методика проведення досліджень

Дослідження впливу транспортного затору на рівень втоми водія-сангвініка полягають у фіксуванні електрокардіограми водіїв при вході в транспортний затор, в самій пробці і при виході з неї.

Рівень стомлення водія-сангвініка обчислюється в умовних одиницях за Баєвським Р. М. за спеціальним алгоритмом, що враховує статистичні показники, показники гістограми і дані спектрального аналізу кардіоінтервалів. Рівень стомлення дає змогу диференціювати різні ступені напруженості регуляторних систем і оцінити адаптаційні можливості організму [11]. Його обчислюють за алгоритмом, що враховує п'ять критеріїв:

$$P_c = |A| + |B| + |C| + |D| + |E|, \quad (1)$$

де A – сумарний ефект регуляції (за показниками математичного очікування);

B – функція автоматизму (за середнім квадратичним відхиленням, за варіаційним розмахом і за коефіцієнтом варіації);

C – вегетативний гомеостаз (за комплексом показників: варіаційним розмахом, амплітудою моди, індексом напруженості регуляторних систем);

D – стійкість регуляції (за коефіцієнтом варіації);

E – активність підкіркових нервових центрів (визначають на основі відносних потужностей дихальних хвиль і хвиль першого та другого порядку з виділенням станів вираженого і помірного посилення активності підкіркових нервових центрів).

3. Результати досліджень та обговорення

Розроблена модель впливу транспортного затору на рівень стомлення водія-сангвініка має такий вигляд [12]:

$$P_{ск} = 0,009 \cdot B_v + 1,372 \cdot \left| \ln \left(\frac{T_z}{P_{сн}} \right) \right| + 0,939 \cdot P_{сн}, \quad (2)$$

де $P_{ск}$ – рівень стомлення при виході із затору, ум. од.;

B_v – вік водія, роки;

T_z – тривалість транспортного затору, хв;

$P_{сн}$ – рівень стомлення при вході в затор, ум. од.

Для дослідження впливу заторів на рівень втоми водія були побудовані графіки, які у загальному відображають вплив початкового стану на рівень стомлення водія в заторі (рис. 1–6).

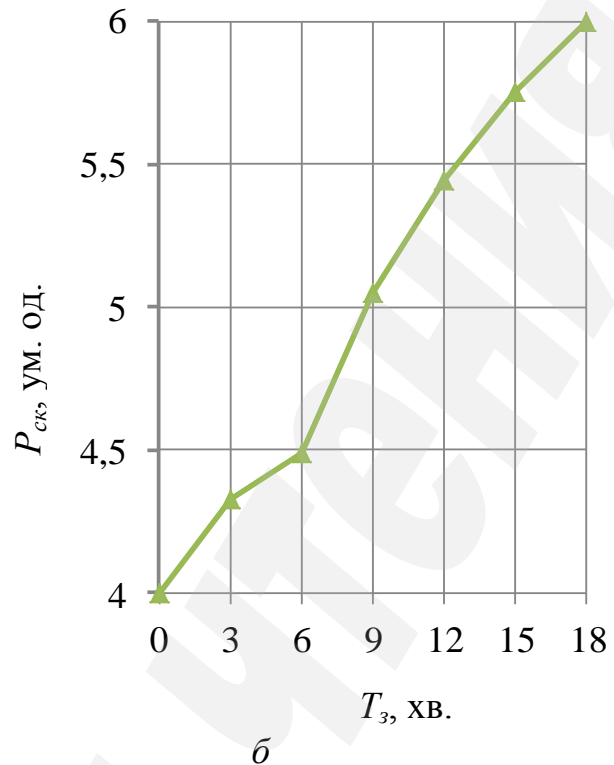
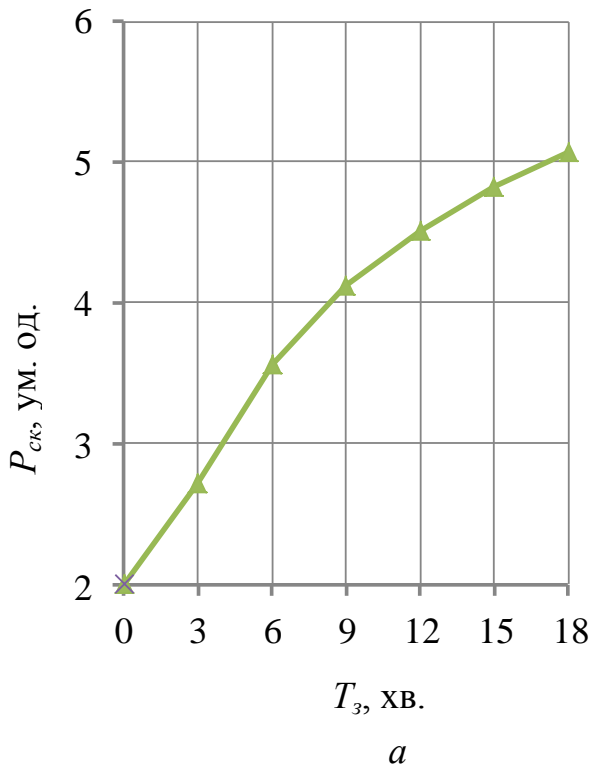


Рис. 1. Залежність змінювання рівня стомлення водія-сангвініка 20 років у транспортному заторі при: *а* – $P_{сн}=2$ ум. од.; *б* – $P_{сн}=4$ ум. од.

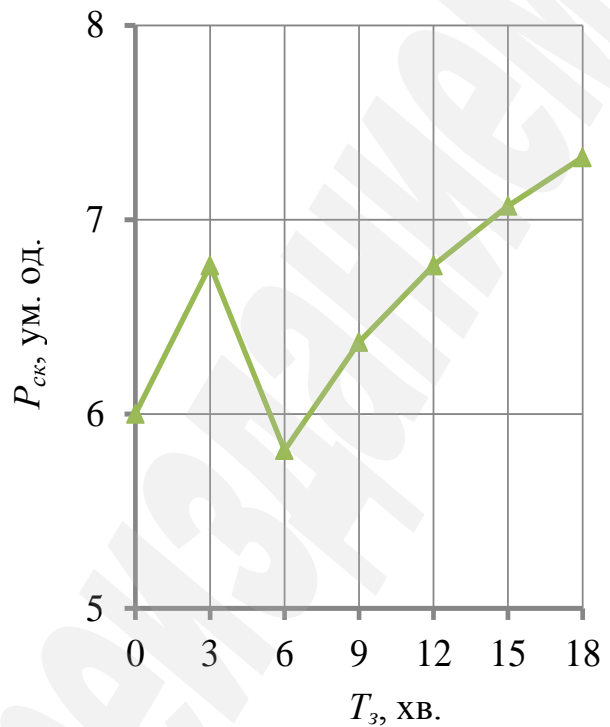
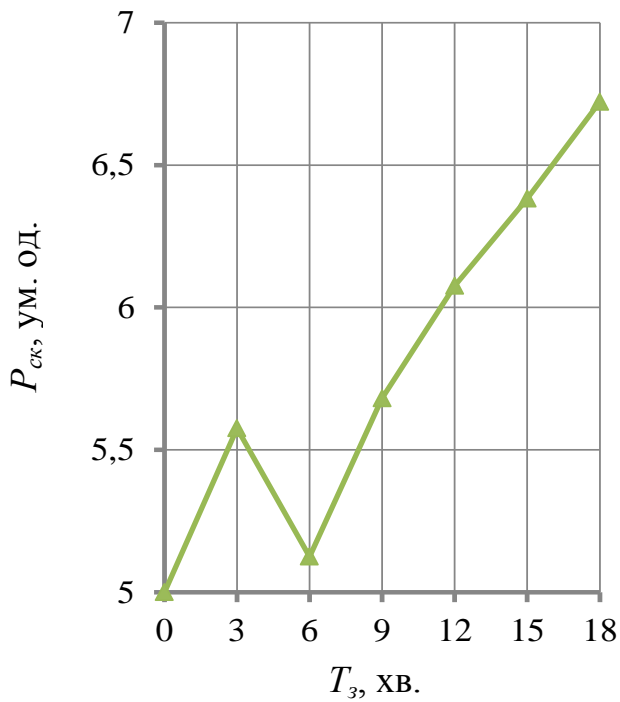
З рис. 1, *а* зрозуміло, що рівень стомлення водія-сангвініка наприкінці затору підвищується та досягає 5 ум. од., що відображає стан вираженого напруження регуляторних систем.

З рис. 1, *б* зрозуміло, що до 6-ої хвилини затору рівень стомлення змінюється незначно, а потім помітно погіршується, наближаючись на кінець затору до 6 ум. од.

Динаміку змінювання стану молодих водіїв 20 років транспортному заторі при $P_{сн}=5$ ум. од. та при $P_{сн}=6$ ум. од. подано на рис. 2.

Стан водія-сангвініка на рис. 2, *а* на початку затору трохи підвищується внаслідок інерційних процесів, що відбуваються в організмі, а потім його стан поліпшується і повертається до початкового – на 6 хвилині затору. Поліпшення стану в заторі пояснюється тим, що він увійшов в затор в напруженому стані. Далі його стан значно погіршується. До того ж значення рівня стомлення у водія-сангвініка наближається до 7 ум. од., що свідчить про різко виражене перенапруження регуляторних механізмів.

На рис. 2, *б* стан сангвініка до 6-ої хвилини поліпшується (на 8–10 %) і сягає менше, ніж початкове значення. Потім ситуація змінюється, а значення рівня стомлення підвищується, перевищуючи наприкінці затору 7 ум. од. Це свідчить про поступове виснаження регуляторних систем.



a

б

Рис. 2. Залежність змінювання рівня стомлення водія-сангвініка 20 років у транспортному заторі при: *a* – $P_{сн}=5$ ум. од.; *б* – $P_{сн}=6$ ум. од.

Змінювання рівня стомлення двадцятирічного водія-сангвініка у заторі в трьох вимірах наведено на рис. 3.

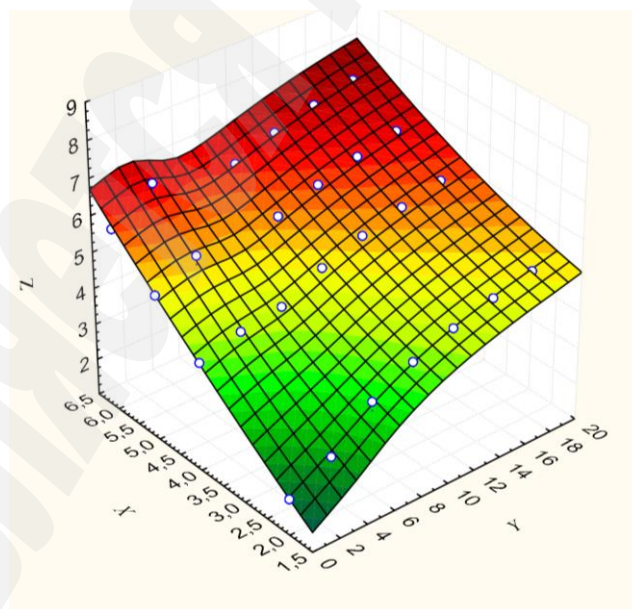


Рис. 3. Змінювання кінцевого рівня стомлення (Z) водія-сангвініка 20 років залежно від початкового рівня (X) та тривалості затору (Y)

З рис. 3 зрозуміло, що зі збільшенням величини початкового рівня стомлення у водія-сангвініка збільшується кінцевий рівень його стомлення.

Така ж тенденція спостерігається і зі збільшенням часу перебування водія в транспортному заторі.

Стан водія-сангвініка при високих значеннях початкового рівня втомі до 3-ої хвилини затору не змінюється. Далі його стан до 6-ої хвилини затору нормалізується, повертаючись до початкового. Після 6-ої хвилини затору рівень стомлення водія-сангвініка зростає, наближаючись до 8 ум. од.

У шістдесятирічного водія-сангвініка динаміка змінювання функціонального стану (рис. 4, *a*) подібна до змінювання функціонального стану, поданого на рис. 1, *a*.

Приблизно така сама ситуація щодо змінювання функціонального стану водіїв, вік яких становить шістдесят років, у транспортному заторі при початковому рівні стомлення рівному 4 ум. од. (рис. 4, *б*). До 6-ої хвилини затору рівень стомлення у водія-сангвініка погіршується повільніше, ніж після цього. Далі значення рівня стомлення у водія-сангвініка зростає значно, наближаючись наприкінці затору до 6,5 ум. од.

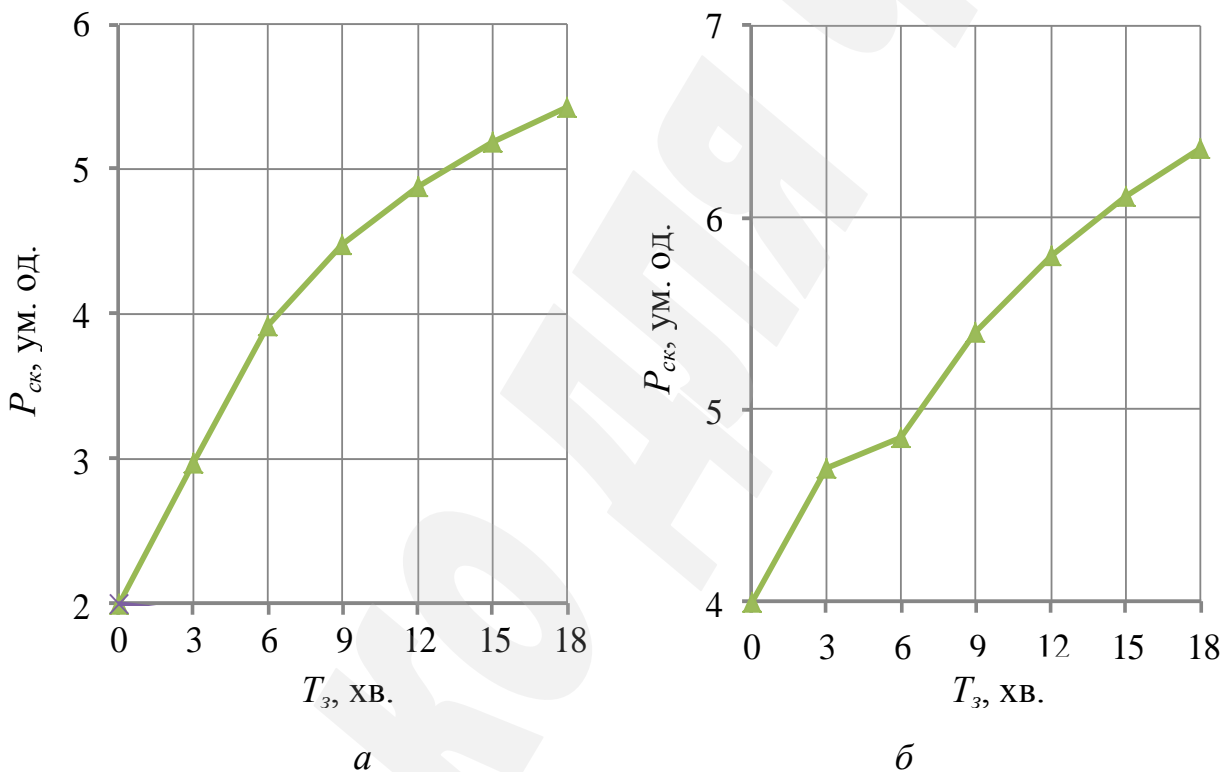


Рис. 4. Залежність змінювання рівня стомлення водія-сангвініка 60 років у транспортному заторі при: *a* – $P_{cn}=2$ ум. од.; *б* – $P_{cn}=4$ ум. од.

Динаміку змінювання стану водія-сангвініка шістдесяти років у транспортному заторі при $P_{cn}=5$ ум. од. і $P_{cn}=6$ ум. од. подано на рис. 5.

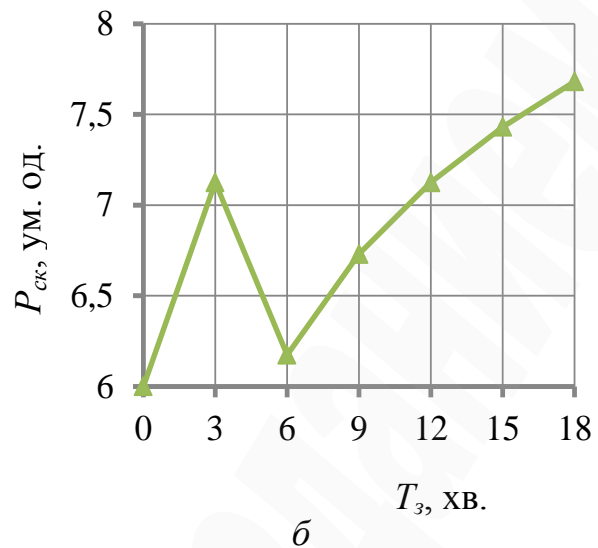
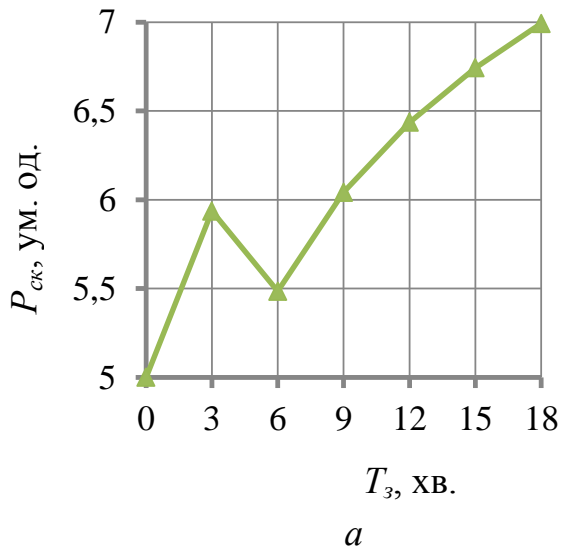


Рис. 5. Залежність змінювання рівня стомлення водія-сангвініка 60 років у транспортному заторі при: *а* – $P_{cn}=5$ ум. од.; *б* – $P_{cn}=6$ ум. од.

Стан водія-сангвініка (рис. 5, *а*) на початку затору трохи підвищується внаслідок інерційних процесів, що відбуваються в організмі, а потім його стан поліпшується до 6-ї хвилини, не досягаючи, однак, початкових значень рівня стомлення організму. Поліпшення стану в заторі пояснюється тим, що він увійшов в затор в напруженому стані. Далі його стан значно погіршується, а значення $P_{ск}$ наприкінці затору у водія-сангвініка становить 7 ум. од.

До того ж значення рівня стомлення у водія-сангвініка перевищує 7 ум. од., що свідчить про різко виражене перенапруження регуляторних механізмів.

З рис. 5, *б* зрозуміло, що стан водія-сангвініка до 6-ї хвилини поліпшується і сягає більше 7 ум. од. Потім ситуація змінюється, а значення рівня стомлення підвищується, наближаючись наприкінці затору до 8 ум. од., що свідчить про поступове виснаження регуляторних систем.

Змінювання рівня стомлення шістдесятирічного водія-сангвініка у транспортному заторі в трьох вимірах залежно від початкового рівня та тривалості затору наведено на рис. 6.

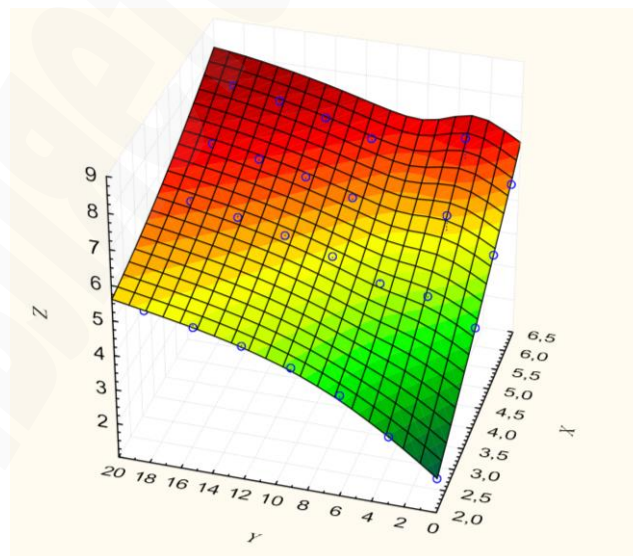


Рис. 6. Змінювання кінцевого рівня стомлення (Z) водія-сангвініка 60 років залежно від початкового рівня (X) та тривалості затору (Y)

З рис. 6 зрозуміло, що зі збільшенням величини початкового рівня стомлення у водія-сангвініка збільшується його кінцевий рівень. Така ж тенденція спостерігається і з збільшенням часу перебування водія в заторі.

Основними результатами дослідження є визначення закономірностей впливу параметрів транспортного затору на змінювання функціонального стану водія-сангвініка і на кінцевий рівень його стомлення в заторі. Основними факторами, що впливають на рівень втоми водія-сангвініка є: значення початкового рівня втоми водія перед входом в затор, тривалість затору і вік водія. Тенденції змінювання рівня втоми водія-сангвініка в заторі, виявлені в ході дослідження, дозволяють прогнозувати поведінку водія після виходу з дорожнього затору і оцінити можливі схеми розвитку дорожньо-транспортної ситуації, які безпосередньо впливають на безпеку дорожнього руху.

4. Висновки

Проведено дослідження дорожніх заторів в транспортній системі міста і встановлені закономірності їх впливу на рівень втоми водія-сангвініка. Встановлено, що якщо стан водія-сангвініка будь-якого віку перед транспортним затором нормальний, подальше перебування в затору призводить до погіршення його функціонального стану. Аналіз результатів досліджень показав, що змінювання стану водія-сангвініка в дорожньому заторі відбувається різноспрямовано в залежності від значення початкового рівня стомлення перед початком затору. Якщо це значення більше п'яти умовних одиниць, то в перші хвилини затору (приблизно до 2–4 хвилин в залежності від віку), стан водія продовжує погіршуватися внаслідок інерційних процесів в його організмі. Далі рівень втоми водія-сангвінік знижується на 1–1,15 одиниці (в залежності від віку) протягом 3–4 хвилин. Подальше перебування в заторі негативно впливає на стан водія, підвищуючи його рівень втоми. Найбільш значуще негативний вплив затору на стан водія-сангвініка спостерігається після 12-ої хвилини транспортного затору. Це може привести до підвищення ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди. Застосування отриманих в роботі закономірностей дозволять оцінити і порівняти різні варіанти схем організації дорожнього руху з метою підвищення безпеки руху.

Література

1. Lobanov, E. M. (1980). *Proektirovanie dorog i organizaciia dvizheniia s uchetom psikhofiziologii voditelia*. Moscow: Transport, 311.
2. Hiuliev, N. U. (2016). *Liudskyi faktor i dorozhni zatory*. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 235.
3. Kundelekov, A. G. (2012). Vliianie transportnykh zatorov na psikhovegetativnii status voditelei obschestvennogo transporta s uchetom vozrasta i stazha raboty. *Fundamentalnye issledovaniia*, 12 (1), 82–85.
4. Zhang, L., Jia, Y., Niu, Z., Liao, C. (2014). Widespread Traffic Congestion Prediction for Urban Road Network Based on Synergetic Theory. *Journal of Systems Science and Information*, 2 (4), 366–371. doi: <http://doi.org/10.1515/jssi-2014-0366>

5. Yang, S. (2013). On feature selection for traffic congestion prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26, 160–169. doi: <http://doi.org/10.1016/j.trc.2012.08.005>
6. Qi, W., Pei, Y., Song, M., Bie, Y. (2013). Pattern Analysis of Driver's "Pressure-State-Response" in Traffic Congestion. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 6, 1–11. doi: <http://doi.org/10.1155/2013/853845>
7. Son, S., Baek, Y. (2015). Design and Implementation of Real-Time Vehicular Camera for Driver Assistance and Traffic Congestion Estimation. *Sensors*, 15 (8), 20204–20231. doi: <http://doi.org/10.3390/s150820204>
8. Drum, D. K. (2014). *Counteracting traffic congestion using intelligent driver feedback*. doi: <http://doi.org/10.32469/10355/44263>
9. Lizbetin, J., Bartuska, L. (2017). The Influence of Human Factor on Congestion Formation on Urban Roads. *Procedia Engineering*, 187, 206–211. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.366>
10. Ito, T., Kaneyasu, R. (2017). Predicting traffic congestion using driver behavior. *Procedia Computer Science*, 112, 1288–1297. doi: <http://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.090>
11. Baevskii, P. M. (1979). *Prognozirovaniye sostoianii na grani normy i patologii*. Moscow: Medicina, 298.
12. Giulev, N. U., Dolia, V. K. (2012). Nonlinear model of changes in functional state in driver sangvinnika traffic congestion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (57)), 17–19. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4008>

The object of research is the process of the driver's labor activity on city roads in the city's transport system during the transportation of goods and passengers. The influence of traffic congestion on the functional state of a sanguine driver is studied, which is one of the most common types of temperament. The main hypothesis of the study is that the level of driver fatigue in traffic congestion, which affects the driver's reaction time and road safety, depends on the driver's condition and traffic congestion parameters. The driver's fatigue level is determined based on the concept of the cardiovascular system, as an indicator of the adaptive and adaptive activity of the body by measuring the electrocardiogram. In this case, the unevenness of the cardio intervals is analyzed, which is a universal response to any kind of load. Fatigue level is calculated in arbitrary units according to a special algorithm that takes into account statistical indicators, histogram indicators and data of spectral analysis of cardio intervals. Using a non-linear model of changing the functional state of a sanguine driver, the patterns of changes in the fatigue level under various conditions of stay in traffic congestion are obtained. It is revealed that the most significant factor that affects the final level of driver fatigue in traffic congestion is its initial value before traffic congestion. The second most important parameter affecting the change in the fatigue level of the sanguine driver is the duration of traffic congestion, which affects the initial function only together with the initial fatigue level. The influence of the age of the sanguine driver on the fatigue level in the traffic congestion is manifested to a lesser extent. However, the conditions of stay in traffic

congestion most noticeably affect older drivers (sixty or more years) compared with young drivers of twenty years. Analysis of the research results shows that traffic congestions lasting more than twelve minutes lead to a significant increase in the fatigue level of a sanguine driver. This may increase the likelihood of a traffic accident. The trends in the fatigue level of sanguine driver in traffic congestions identified during the study allow to predict the driver's behavior after exiting a traffic congestion and evaluate possible patterns of road traffic development that directly affect road safety.

Keywords: *traffic congestion, fatigue level, temperament, sanguine driver, road safety.*