

О.В. Прасоленко¹, В.А. Чумаченко², О.О. Грєкова¹¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна²ТОВ «Віасистемпро», Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСУ РЕАКЦІЇ ВОДІЯ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ НА МІСЬКИХ ВУЛИЦЯХ

В статті розглянуто підхід щодо моделювання часу реакції водія з урахуванням впливу конфліктних ситуацій на міських вулицях. Виконані експериментальні дослідження закономірностей змінювання часу реакції, індексу напруження водіїв в умовах руху по міським вулицям. Побудовано двох факторні моделі з урахуванням взаємного впливу факторів часу руху у міських умовах та кількості конфліктних ситуацій в які потрапляють водії відносно відстані пересування на час реакції та змінювання індексу напруження водія. Отримані закономірності вказують на чисельні характеристики зміни часу реакції та напруженості водіїв при потрапленні в конфліктні ситуації на міських вулицях в різних умовах руху. Зміна часу реакції в таких умовах коливається в межах від 0,7 сек. до 1,5 сек., при цьому, напруження водія може зростати більш, як в 2,5 рази.

Ключові слова: водій, час реакції, конфліктні ситуації, функціональний стан.

Постановка проблеми

Час реакції водія є найважливішою характеристикою при керуванні автомобілем. Часом реакції водія є період часу від моменту появи подразника в полі зору водія до початку дії (застосування педалі гальма, акселератора, рульового керма). Час реакції на стимули залежить від: індивідуальності та віку водія; стану його здоров'я; психічного стану на даний момент; споживання алкоголю або наркотиків; того, якщо на даний момент він знаходиться у транспортному засобі один або з пасажиром і ін. Значення часу реакції у всіх людей різне. Наприклад, реагування на колір світла (на керованих світлофором перехрестях) становить від 0,1 до 1,5 с., на перешкоду на дорозі від 0,3 до 1,2 с. і т. д. У цей час входить і час прийняття рішення після імпульсу, під час якого протікає процес мислення, підготовки остаточного рішення і власне дія, а також її реалізація (наприклад, початок гальмування). Від часу реакції водія залежить безпека руху в небезпечних ситуаціях [1–7]. Проте, не зовсім відомо як змінюється час реакції водія в конфліктних ситуаціях з урахуванням характеристик дорожнього руху та функціонального стану водія.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Час реакції водія може залежати від статі [2], віку [2, 6, 8] та досвіду водія [9]. На час реакції впливають додаткові фактори, такі як: відволікання уваги (мобільний телефон [10–14], музика [12]), розумові навантаження [8], погодні умови [2, 9], вживання

спиртного [6], швидкість руху [1, 2], стрес [7, 15], захворювання [4–6], яскравість та контрастність перешкод [16], тип транспортного засобу [2].

У загальному виді час реакції можна представити з урахуванням наступних складових:

$$T_p = T_g + T_o + T_n + T_a, \quad (1)$$

де T_p – час реакції водія, мс.;

T_g – час виявлення об'єкта (розпізнавання), мс.;

T_o – час, необхідний водію для оцінки дорожньо-транспортної ситуації (ДТС) або умов руху (сигнал до дії), мс.;

T_n – час з моменту оцінки ДТС до початку рухової реакції, мс.;

T_a – час виконання водієм рухової реакції до моменту початку впливу на органи керування (моторний компонент), мс.

Визначення складових часу реакції відповідно до умов руху, функціонального стану водія, параметрів перешкод можливо застосовувати при визначенні надійності діяльності водія. При цьому, вважається що час реакції водія є показником надійності.

В роботі [17] у результаті експериментального дослідження психомоторної реакції значного числа водіїв (близько 240 осіб) встановлено, що при несподіваній появі перешкоди (манекена) на смузі руху транспортного засобу, водії для запобігання наїзду (в 45% випадків) використовують маневр і намагаються об'їхати манекен, або інтенсивно гальмують. Вибір

того чи іншого способу запобігання наїзду в основному залежить від досвіду водія (стажу його роботи і віку). Більш досвідчені водії для запобігання наїзду зазвичай роблять маневр, а молоді з меншим досвідом – гальмування. На підставі отриманих даних встановлені наступні емпіричні ймовірності дій водія в модельованій небезпечній ситуації, %:

- гальмування – 50,3;
- маневр – 45,6;
- прямолінійний рух – 4,1.

Результати вимірювань часу психомоторної реакції водіїв згруповані за характером реагування (гальмування або маневр) і стажу роботи: 1-а група – до 5 років; 2-а – від 5 до 10 років; 3-тя – від 10 до 15 років; 4-а – від 15 до 20 років; 5-а – більше 20 років (табл. 1).

Таблиця 1

Час психомоторної реакції за різним стажем роботи

Стаж водія, роки	Середній час реакції (гальмування), с.	Середній час реакції (маневр), с.
0–5	1,07	1,45
5–10	0,94	1,24
10–15	0,85	1,13
15–20	0,79	1,06
20–25	0,75	1,02

В табл. 2 представлено змінювання часу реакції за віком водіїв.

Таблиця 2

Час психомоторної реакції за різним віком

Вік водія, роки	Середній час реакції (гальмування), с.	Середній час реакції (маневр), с.
18–20	1,13	1,57
20–30	1,01	1,34
30–40	0,88	1,18
40–50	0,76	1,01
50–60	0,70	1,03

Авторами [17] запропоновано наступні моделі змінювання часу реакції водія:

При гальмуванні:

$$t_{\Gamma} = 0,963 + 0,0173A - 0,0362C + 0,0002AC - 0,00037A^2 + 0,0007C^2, \quad (2)$$

При маневруванні:

$$t_M = 2,63 - 0,06A - 0,0305C + 0,0002AC + 0,0006A^2 + 0,0006C^2, \quad (3)$$

де A – вік водія;

C – стаж роботи водія.

Автор роботи [4] дослідив закономірності зміни часу реакції водія за іншими видами перешкод: гальмування автомобіля попереду з різним вповільненням з стоп-сигналом і без нього, поворот автомобіля лідера на ліва та право, виїзд автомобіля на дорогу, поява пішохода, сигнали світлофора і інші ситуації на замських дорогах.

Перераховані дослідження вказують на дані щодо часу реакції водіїв в різних умовах та ситуаціях, проте дані дослідження не враховують інтенсивності навантаження на водіїв під час руху та зміну часу реакції при виникненні постійної кількості конфліктів різного виду. Конфлікти поділяються по тяжкості роздільно. Найчастіше вони діляться на 3 ступені тяжкості: 1 – легкий конфлікт; 2 – середній конфлікт; 3 – важкий конфлікт [18].

За методом конфліктних ситуацій кількість конфліктів розраховується за формулою:

$$K_{kc} = 0,44 \cdot K_1 + 0,83 \cdot K_2 + K_3, \quad (4)$$

де K_1, K_2, K_3 – відповідно легкі, середні і критичні конфліктні ситуації (визначаються за даними поперечних і продольних прискорень, що виникають під час взаємодії водія з перешкодами).

Конфлікти і їх тяжкість можуть бути враховані за допомогою фіксацій психофізіологічних показників. Встановлено, що при русі в місті частота пульсу у більшості водіїв зростає на 20–50%, а кров'яний тиск в критичних ситуаціях на 30%. Автори [19], як індикатор конфліктних ситуацій та їх тяжкості використали показники артеріального кров'яного тиску, частоту серцевого пульсу і електрокардіограму.

Рівняння регресії для визначення типу конфліктної ситуації на артеріальний тиск водія має вид:

$$S = 102,8 + 3,5 K, \quad (5)$$

де S – середня арифметична систолічного і діастолічного кров'яного тиску, мм рт. ст.;

K – оцінка тяжкості конфліктної ситуації, бал.

Рівняння регресії для визначення типу конфліктної ситуації на пульсу водія має вид:

$$P = 77,6 + 3,5 K, \quad (6)$$

де P – частота серцевого ритму, кількість ударів за хвилину.

Тяжкість конфліктів і небезпека визначаються також за допомогою фіксації швидкостей і прискорень. Було виявлено майже повну відповідність між оцінкою тяжкості конфліктної ситуації і значенням негативного прискорення автомобіля (коефіцієнт кореляції $r = 0,925$, коефіцієнт довіри $t = 36,36$ (при r

<0,05). Прискорення досягли 7,0 м/с² (оцінка тяжкості конфлікту 4 бали). Рівняння регресії наступне:

$$a = 1,36 + 1,15 K, \quad (7)$$

де a – прискорення гальмування, м/с²;

K – оцінка тяжкості конфліктної ситуації, бал.

Є.М. Лобанов [4] узагальнив вплив психофізіологічних якостей людини на безпеку дорожнього руху. Зміна властивостей організму водія залежить від впливу дорожньої обстановки. Автор пропонує впливати на формування дорожніх умов виходячи можливостей людини. Таким чином, можна вважати, що психофізіологічні характеристики є індикатором дорожніх умов і причин скоєння ДТП.

Формулювання мети статті

Метою дослідження є визначення впливу конфліктних ситуацій на міських вулицях на час реакції водія.

Виклад основного матеріалу

Функціональний стан водія – це комплекс наявних характеристик тих функцій і якостей оператора, які прямо або побічно характеризують виконання трудової діяльності (трудовах функцій). Це визначення проводить грань між станом людини і станом його окремих фізіологічних і психофізіологічних функцій. Психічна діяльність характеризується як складом, спрямованістю, так і формально-динамічними особливостями, в тому числі рівнем активації. «Рівень активації», поняттю відповідає уявлення про функціональний стан людини як того фону, на якому реалізується дана конкретна діяльність. Будь-яка діяльність в залежності від умов функціонування ЦНС може бути успішною чи ні. Кожному з нас знайомий стан сонливості, втоми або, навпаки, стан високої працездатності. Відомо, що успішність, ефективність тієї або іншої роботи в значній мірі визначається цими станами [3].

Одним з таких показників є індекс напруження. Саме серцевий ритм є стабільним і точним індикатором функціонального стану [3–4]. Індекс напруження визначається за формулою [3]:

$$IH = AM_o / 2 \cdot \Delta X \cdot M_o, \quad (8)$$

де AM_o – амплітуда моди розподілу RR-інтервалів, %;

ΔX – варіаційний розмах RR-інтервалів;

M_o – діапазон значень найбільш часто зустрічаються RR-інтервалів (мода розподілу), с.

За даними стан водія може бути визначено за шкалою, яку запропонував Гаврилов Е.В. В табл. 3 представлено фази стану напруженості і стресу [3].

Таблиця 3

Фази стану напруженості і стресу

Фази стану	Здвиг частоти серцебиття, %	Індекс напруження, %/с
Норма	5 – 10	50 – 100
Функціональний комфорт	10 – 16	100 – 160
Помірна напруженість (напруга механізмів адаптації)	16 – 20	160 – 200
Велика напруженість (перенапруга механізмів адаптації, граничний стан)	20 – 30	200 – 300
Стрес (незадовільна адаптація)	зменшується	300 – 450 зменшується і збільшується в 2 – 3 рази
Великий стрес (зрив адаптації)	не змінюється	> 450 зменшується і збільшується

Індекс напруження за даними [3] доцільно порівнювати з фоновими значеннями під час досліджень впливу факторів середовища руху. ΔIH – відношення фактичного індексу напруження водія до фонового значення можна визначити за формулою:

$$\Delta IH = IH_p / IH_f, \quad (9)$$

де IH_p – індекс напруження під час руху;

IH_f – індекс напруження у фоновому стані, коли водій лежить відкинувшись на сидінні із заплющеними очима перед поїздкою 10 хвилин.

Кардіограма водія реєструвалась за допомогою портативного холтеру та аналізувалась в системі CardioSens CS. Фрагмент кардіограми водія представлено на рис. 1.

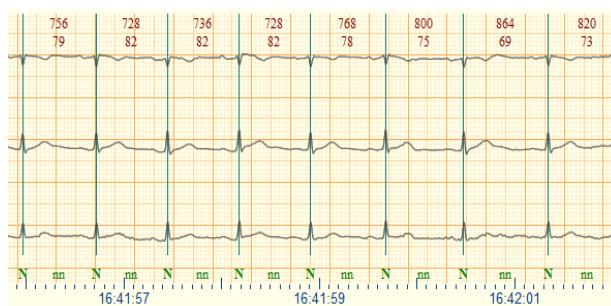


Рис. 1. Фрагмент кардіограми водія

Експериментальні дослідження виконувались на міських вулицях різної категорії. Перед експериментом ми вимірювали стан водіїв перед поїздкою

(табл. 4). Фоновий стан ми замірювали у кожного водія перед поїздкою, в положенні лежачи на сидінні з заплющеними очима. Це стан перед поїздкою, водії як правило менш напружені та спокійні. Перед поїздкою реєструвався індекс напруження. В табл. 4 представлені дані для водіїв зі стажем 10–16 років.

Таблиця 4
Параметри випробуваних в фоновому стані на основі показників серцевого ритму

№ водія	Пульс	AM _o , %	ΔX, мс	M _o , мс	IH _φ , %/с
1	68	26	265	900	55
2	65	38	203	950	99
3	76	34	235	800	91
4	75	36	242	750	98
5	82	42	258	700	116
6	79	43	219	750	130

Конфліктні ситуації за ступенем небезпеки поділяються на три типи: легкі, середні і критичні (4) [18]. Для реєстрації параметрів вповільнення використовували прилад gaselogic [20]. Фрагмент теплової карти місць виникнення конфліктів представлено на рис. 2.

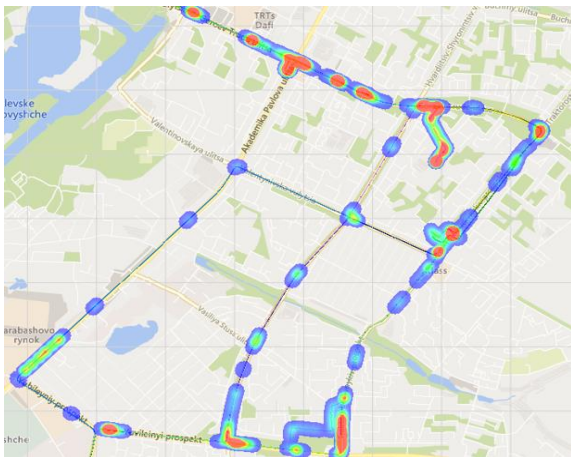


Рис. 2. Теплова карта виникнення конфліктів

В результаті взаємного впливу факторів часу руху ($T_{рух}$) у міських умовах та кількості конфліктних ситуацій в які потрапляють водії відносно відстані пересування (N_{KS}) на зміну індексу напруження, було отримано наступну двох факторну модель:

$$\Delta IN = 0,16 \cdot \exp^{(0,0733 \cdot T_{рух})} + 0,419 \cdot \ln(N_{KS}) + 1,19, \quad (10)$$

Графічне представлення отриманої моделі (10) представлено у вигляді поверхні на рис. 3.

Статистичні характеристики моделі наступні: коефіцієнт множинної кореляції склав – 0,95, середня помилка апроксимації – 7,1%.

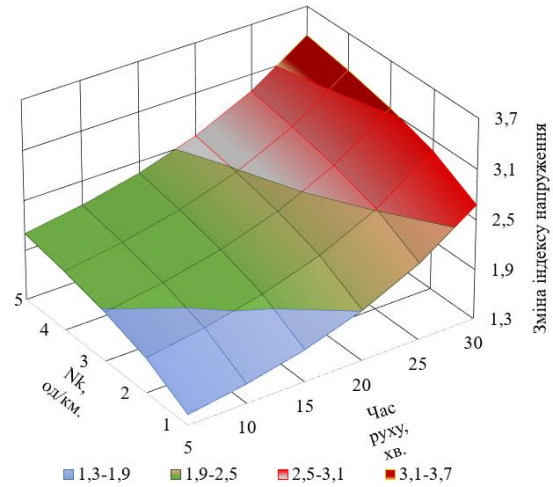


Рис. 3. Залежність зміни індексу напруження водія від кількості конфліктних ситуацій на маршруті та часу руху

В результаті взаємного впливу факторів часу руху ($T_{рух}$) у міських умовах та кількості конфліктних ситуацій в які потрапляють водії відносно відстані пересування (N_{KS}) на час реакції водія, було отримано наступну двох факторну модель:

$$T_{react} = 0,0015 \cdot T_{рух}^2 - 0,04 \cdot T_{рух} + 0,017 \cdot N_{KS}^2 - 0,054 \cdot N_{KS} + 1,118, \quad (11)$$

Графічне представлення отриманої моделі (11) представлено у вигляді поверхні на рис. 4.

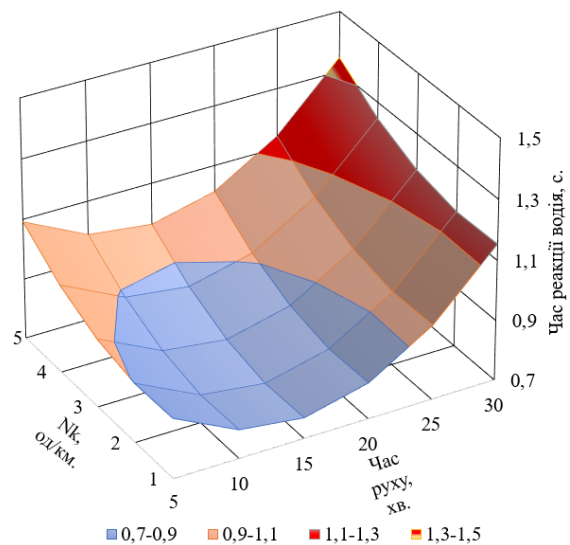


Рис. 4. Залежність зміни часу реакції водія від кількості конфліктних ситуацій на маршруті та часу руху

Статистичні характеристики моделі (11) наступні: коефіцієнт множинної кореляції склав – 0,95, середня помилка апроксимації – 4,07%.

Висновки

Отримані залежності зміни функціонального стану водія та часу реакції відповідно до кількості конфліктних ситуацій під час руху вказують на значні коливання цих показників. Зміна часу реакції від 0,7 сек. до 1,4 сек. пов'язана зі значними психофізіологічними навантаженнями на водія під час руху по міським вулицям з зростаючою кількістю конфліктних ситуацій різного виду: появи пішохода, небезпечних маневрувань інших транспортних засобів і ін. При цьому, напруження водія може зростати більш, як в 2,5 рази. Всі дослідження були виконані при умові вільного вибору водіями швидкості руху.

References

1. Jurecki, R.S., & Stańczyk, T.L. (2014). Driver reaction time to lateral entering pedestrian in a simulated crash traffic situation. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 22–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.08.006>
2. Dozza, M. (2013). What factors influence drivers' response time for evasive maneuvers in real traffic? *Accident Analysis & Prevention*, 58, 299–308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.06.003>
3. Gavrillov, E.V. (1992). Theoretical bases of designing and the organization of conditions of traffic taking into account laws of behavior of drivers. *The dis. doctor of technical sciences*. Sciences, KADI, 300 p. [in Ukrainian]
4. Lobanov, E.M. (1980). Designing roads and organizing traffic, taking into account the driver's psychophysiology. Transport, Moscow. [in Russian]
5. Sansosti, L.E., Spiess, K.E., & Meyr, A.J. (2017). Diabetic driving studies—part 3: a comparison of mean brake response time between neuropathic diabetic drivers with and without foot pathology. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 56(3), 577–580. DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/j.jfas.2017.01.044>
6. Yadav, A.K., & Velaga, N.R. (2019). Modelling the relationship between different Blood Alcohol Concentrations and reaction time of young and mature drivers. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 64, 227–245. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2019.05.011>
7. Pawar, N.M., & Velaga, N.R. (2020). Modelling the influence of time pressure on reaction time of drivers. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 72, 1–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.04.017>
8. Makishita, H., & Matsunaga, K. (2008). Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. *Accident Analysis & Prevention*, 40(2), 567–575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.08.012>
9. Chakrabarty, N., & Gupta, K. (2013). Analysis of driver behaviour and crash characteristics during adverse weather conditions. *Procedia-social and behavioral sciences*, 104, 1048–1057. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.200>
10. Haque, M.M., & Washington, S. (2014). A parametric duration model of the reaction times of drivers distracted by mobile phone conversations. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 42–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.09.010>
11. Hancock, P.A., Lesch, M., & Simmons, L. (2003). The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), 501–514.
12. Berg, W.P., & Dessecker, D.J. (2013). Evidence of unconscious motor adaptation to cognitive and auditory distraction. *Adaptive behavior*, 21(5), 346–355.
13. Hendrick, J.L., & Switzer, J.R. (2007). Hands-free versus hand-held cell phone conversation on a braking response by young drivers. *Perceptual and Motor Skills*, 105(2), 514–522. DOI: <https://doi.org/10.2466/pms.105.2.514-522>
14. Žuraulis, V., Nagurnas, S., Pečeliūnas, R., Pumputis, V., & Skačkauskas, P. (2018). The analysis of drivers' reaction time using cell phone in the case of vehicle stabilization task. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 31(5), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.13075/ijom.1896.01264>
15. Pawar, N.M., Khanuja, R.K., Choudhary, P., & Velaga, N.R. (2020). Modelling braking behaviour and accident probability of drivers under increasing time pressure conditions. *Accident Analysis & Prevention*, 136, 105401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105401>
16. Plainis, S., & Murray, I.J. (2002). Reaction times as an index of visual conspicuity when driving at night. *Ophthalmic and physiological optics*, 22(5), 409–415. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.2002.00076.x>
17. Lukoshivichene, O.V. (1988). Simulation of traffic accidents. Transport, Moscow. [in Russian]
18. Innovative Technologies for the Development of Mechanical Engineering and Efficient Operation of Transport Systems: Materials of the 1st International Scientific and Technical Internet Conference May 21–23, 2019. Rivne: NUVGP. [in Ukrainian]
19. Shestokas, V.V., & Samoilo, D.S. (1987). Conflict situations and road safety in cities. Transport, Moscow. [in Russian]
20. Prasolenko, O., Lobashov, O., Bugayov, I., Gyulyev, N., & Filina-Dawidowicz, L. (2019). 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. DOI: <https://doi.org/10.1109/MTITS.2019.8883381>

Рецензент: д-р техн. наук, професор каф. А.С. Галкін, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ПРАСОЛЕНКО Олександр 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
інженер, ТОВ «Віасистемпро»
E-mail – viastemproproekt@gmail.com

Автор: ГРЕКОВА Олеся Олександрівна
асистент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – kafedra_tsl@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2088-6828>

**MODELING THE DRIVER'S REACTION TIME TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF
CONFLICT SITUATIONS ON CITY STREETS**

O. Prasolenko¹, V. Chumachenko², O. Grekova¹

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²Ltd. "Viasystempro", Ukraine

The driver's reaction time is the most important characteristic when driving. The driver's reaction time is the period of time from the moment the stimulus appears in the driver's field of vision until the start of the action (application of the brake pedal, accelerator, steering wheel). The response time to stimuli depends on: the driver's age; the state of his health; mental state; alcohol or drug consumption; if at the moment he is in the vehicle alone or with a passenger, etc. The functional state of the driver is a complex of characteristics of the functions and qualities of the operator, which directly or indirectly characterizes the performance of labor activity. This definition draws a line between the state of a person and the state of his individual physiological and psychophysiological functions. One of these indicators is the stress index. Heart rate is a stable and accurate indicator of functional status. The experiment involved drivers with 10-16 years of experience. The driver's cardiogram was recorded using a portable Holter and analyzed in the CardioSens CS system. According to the degree of danger, conflict situations are divided into three types: light, medium and critical. The degree of danger of a conflict situation is determined by the appearance of critical accelerations. A racelogic device was used to register the acceleration parameters. The obtained dependences of the change in the functional state of the driver and the reaction time in accordance with the number of conflict situations while driving indicate significant fluctuations in these indicators. Change in reaction time from 0.7 sec. up to 1.5 sec. associated with significant psychophysiological stress on the driver, the number of conflict situations of various types: the appearance of a pedestrian, dangerous maneuvering of other vehicles, etc. At the same time, the driver's stress may increase by more than 2.5 times. The article discusses an approach to modeling the driver's reaction time, taking into account the influence of conflict situations on city streets. Experimental studies of the regularities of changes in the reaction time, the stress index of drivers in traffic on city streets have been carried out. Two factor models have been built, taking into account the mutual influence of factors of movement time in urban conditions and the number of conflict situations.

Keywords: driver, reaction time, conflict situations, functional state.