

УДК 656.025.510.223

Н.И. Кульбашная

*Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков*

## СООТВЕТСТВИЕ УСЛОВИЙ ДОРОЖНОЙ СРЕДЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ ВОДИТЕЛЯ

*В данной статье произведена оценка соответствия условий движения по показателям функционального состояния водителя. В качестве характеристик функционального состояния водителя предлагается использовать гистографический показатель, сдвиг частоты сердцебиений и дыхания. Определены закономерности влияния факторов дорожной среды, оцениваемой комплексной характеристикой – относительной организации поля восприятия водителя, на функциональные характеристики водителя.*

**Ключевые слова:** *водитель, условия движения, дорожная среда, функциональное состояние, взаимодействие со средой.*

### Постановка проблемы

Трудовая деятельность водителя в эргономической системе «водитель – автомобиль – дорожная среда» характеризуется особенностями взаимодействия человека–водителя с дорожной средой и проявляется в процессе управления автомобилем. Данный процесс определяет наиболее существенные психофизиологические и физиологические характеристики труда водителя. Чтобы система «водитель – среда движения» функционировала эффективно и не приводила к развитию негативных последствий, необходимо обеспечить совместимость характеристик среды движения и водителя.

Конструируемая определенным образом дорожная среда выступает как один из ведущих регулятивных механизмов, обеспечивающих гомеостатическое состояние системы «водитель – автомобиль – дорожная среда» (ВАДС). Если же среда движения изменяется, то это находит свое отражение в деятельности водителя, так как при движении по дороге водитель имеет свой мотив и его действия направлены на достижение определенной цели. Поэтому направленное изменение ситуации на дороге путем изменения количества информации изменяет и цель действий водителя, приводит ее в соответствие с его мотивацией. Цель, исходящая из дорожной среды, воспринимается водителем как его личная, способствующая исполнению его планов и отвечающая его мотивам действий. Таким образом, движение, направленное на достижение цели, происходит без принуждения, что обеспечивает относительную устойчивость поведения водителя и характеризуется адекватностью к внешним условиям.

Согласно принципу наименьшего принуждения Э. В. Гаврилова [1], дорожная среда должна быть организована таким образом, чтобы у водителя не возникало определенного дискомфорта, следствием которого может быть его негативная реакция, развитие которой ведет к аварийной ситуации на дороге.

Поэтому в числе основных особенностей водителя, как активного элемента системы ВАДС, называют способность адаптироваться к изменяющимся условиям, и предпринимать действия, направленные на устранение разницы между внешней средой и движением автомобиля. В основе этих внешне проявляющихся действий лежит более глубокая закономерность, базирующаяся на изменении внутренних характеристик [2]. Выбор соответствующих показателей, позволяющих судить об изменении состояния системы ВАДС, основывается на показателях функционального состояния водителя в процессе движения.

Дорожная среда представляет собой комплекс различных элементов инженерно–технического обеспечения – элементов, непосредственно относящихся к дороге, и элементов, связанных с динамикой процесса (автомобили и пешеходы), а также элементов ландшафта. Воздействие таких факторов на водителя необходимо оценивать комплексным показателем, используя теорию информации, так как действия водителя и характер движения автомобиля зависят от суммативной информации, которая поступает к нему. Использование такого подхода позволяет учесть при обустройстве дорог все сложные взаимодействия в системе ВАДС. Поэтому в данной статье предлагается исследовать влияние факторов дорожной среды на функциональное состояние водителя с помощью комплексной характеристики –

относительной организации поля восприятия водителя.

### Анализ последних исследований и публикаций

Показатели функционального состояния водителей использовали в своих работах Э.В. Гаврилов, Н.С. Голованенко, И.Э. Линник, Л.А. Коваленко, М. В. Саркисян, В.М. Сирота [1, 3–6]. Применение показателей функционального состояния водителей позволило дать более объективную оценку исследований в их работах. Но ставятся под сомнение некоторые функциональные зависимости этих характеристик от показателей взаимодействия водителя со средой движения.

Необходимость учета индивидуальных особенностей водителя при оценке скорости движения раскрывали в своих исследованиях ряд ученых (П. Ангикититакул, Т. Руюта, Т. Ваquita) [7]. Исследования ученых (Жан–Дун Чжу, Ин–Чжи Лу и др.) направлены на корректировку обустройства участков дорог на основе анализа связи между безопасностью дорожного движения и данными скорости с физиологическими аспектами водителя [8].

Свои исследования А. Заринс, Я. Смирнов и Л. Плакане базируют на измерениях гальванической реакция кожи и частоты сердечных сокращений водителя при оценке расстояния видимости, необходимого для выполнения обгона [9]. Физиологические сигналы, такие как частота пульса, дыхания и сопротивление кожи для оценки психического состояния водителя используются и зарубежными учеными С. Рамоном, А. Кларин и др. [10].

Хотя выводы, к которым пришли зарубежные ученые, описывают связь показаний скорости движения с функциональным состоянием водителя с выходом на показатели аварийности, остается неучтенным комплексное влияние среды движения на водителя.

### Цель статьи и постановка задач

Исходя из выше изложенного, целью данной статьи является оценка соответствия условий дорожной среды требованиям водителя по показателям его функционального состояния.

Для достижения цели статьи необходимо решить следующие задачи:

- на основе экспериментальных данных оценить дорожные условия по относительной организации поля восприятия водителя;
- исследовать закономерности влияния факторов дорожной среды на показатели функционального состояния водителя;

– на основании проведенных исследований установить требования по обустройству дорожной среды.

### Изложение основного материала

В процессе опытных заездов производилась регистрация фактической скорости движения, факторов дорожной среды и фиксация показателей функционального состояния организма водителя.

Оценка функционального состояния организма водителя выполнялась по результатам непрерывной регистрации электрокардиограммы (ЭКГ), электропневмограммы (ЭПГ). Для записи ЭПГ использовался спирографический комплекс «Спироком». Электрокардиограмма водителя регистрировалась при помощи цифрового холтеровского кардиографа «Кадисенс».

Для участия в полевых экспериментах привлекались водители–испытатели со стажем профессиональной деятельности 3–7 лет и возрастом от 25 до 45 лет. Группа испытуемых формировалась таким образом, чтобы в ее составе было до 70 % сангвиников и состояла из 6 водителей, что обеспечивало 95 % достоверность результатов опытов [1].

При обработке результатов эксперимента исследуемая дорога условно разбивалась на участки, равные длине поля восприятия водителя. Влияние определенного фактора дорожной среды на водителя оценивалось вероятностью нахождения объекта в опасном состоянии, что дало возможность рассчитать текущую энтропию поля восприятия водителя по формуле:

$$H = -n \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i - n \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i), \quad (1)$$

где  $n$  – число объектов поля восприятия;  $P_i$  – вероятность нахождения каждого из объектов поля восприятия в опасном для движения состоянии (исследования Э. В. Гаврилова [1]).

Максимальная энтропия системы  $H_m$  определяется по формуле:

$$H_m = n^2. \quad (2)$$

Исходя из значений текущей и максимальной энтропии, по формуле определялась относительная организация поля восприятия водителя:

$$R = 1 - \frac{H}{H_m}. \quad (3)$$

По результатам регистрации ЭКГ и ЭПГ рассчитывались: сдвиг частоты сердечбиений по формуле [11]:

$$\Delta\Phi = \frac{f - f_0}{f_0} 100, \quad (4)$$

где  $\Delta\Phi$  – сдвиг частоты сердечбиений, %;  $f$  – частота сердечбиений при движении по дороге в

процессе выполнения задания, ударов/мин;  $f_0$  – фоновая частота сердцебиений, ударов/мин;  
 - сдвиг частоты дыхания [11]:

$$\Delta C = \frac{C - C_0}{C}, \quad (5)$$

где  $\Delta C$  – сдвиг частоты дыхания;  $C$ ,  $C_0$  – частоты дыхания при движении по дороге и в состоянии оперативного покоя, цикл/мин;

- гистографический показатель:

$$H_z = 100V \frac{1}{\bar{l}}, \quad (6)$$

где  $H_z$  – гистографический показатель, 1/с;  $V$  – скорость протяжки ленты электрокардиографа, мм/с;  $\bar{l}$  – средняя величина RR – интервала, мм.

Данные показатели поставлены в соответствие с относительной организацией поля восприятия водителя (рис. 1 а, б, в).

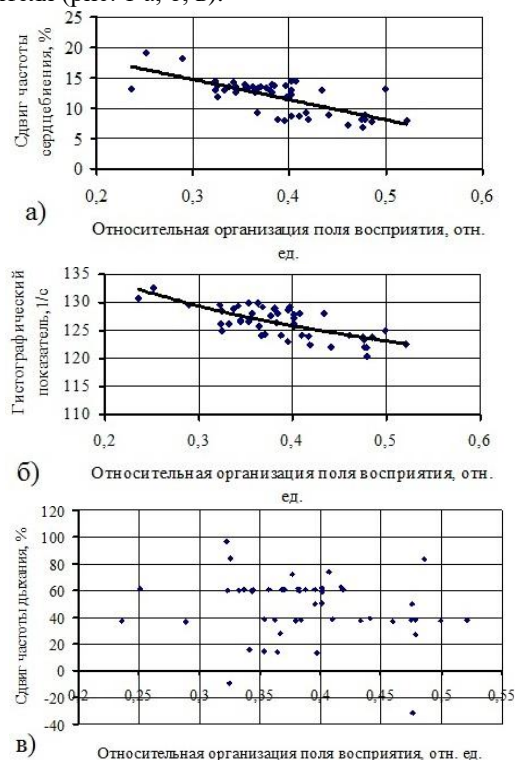


Рис. 1. Связь относительной организации поля восприятия с: а) сдвигом частоты сердцебиений; б) гистографическим показателем; в) сдвигом частоты дыхания

Установлены эмпирические зависимости между относительной организацией поля восприятия водителя и показателями функционального состояния водителя:

$$\Delta \Phi = 36,062 e^{-2,946R_{пв}}. \quad (7)$$

$$H_{г} = 115,2R_{пв}^{0,0964}. \quad (8)$$

Корреляционный анализ сдвига частоты сердцебиения и гистографического показателя с относительной организацией поля восприятия водителя показал наличие сильной связи (индекс корреляции 0,719 и 0,724). По результатам

численного эксперимента определено, что уровень значимости не превышает 0,01, расчетное значение  $t$ -критерия Стьюдента для всех моделей больше табличного, что подтверждает пригодность полученных аппроксимирующих моделей. Корреляционный анализ связи сдвига частоты дыхания с относительной организацией поля восприятия водителя показал отсутствие связи данных параметров (рис.1,в).

Исследуемая система в различных условиях может принимать различное число состояний и характеризоваться многокомпонентностью и разнообразием. Поэтому для исследования системы ВАДС в различных условиях, необходимо учитывать ее состояния в определенных диапазонах (интервалах), в пределах которых максимальная энтропия сохраняет свое значение ( $H_m = const$ ). Учитывая это, связь функциональных характеристик водителя с относительной организации поля восприятия необходимо рассматривать по характеристикам значений максимальной энтропии (рис. 2).

Согласно характеристик фаз состояния напряженности и стресса по исследованиям Э. В. Гаврилова [1] проведен следующий анализ. Связь сдвига частоты сердцебиения с относительной организацией поля восприятия при  $H_m = const$  показала (рис. 2,а), что при движении по участкам, где  $H_m = 25$ , водитель в основном находится в состоянии небольшой монотонии или адаптации при наибольшем и стабильном значении относительной организации системы. С ростом максимальной энтропии при  $H_m = 36$  характер рассеивание точек на графике (рис. 2,а) позволяет сделать предположение, что относительная организация системы растет, а сдвиги функционального состояния уменьшаются. С появлением еще одного фактора в поле восприятия при  $H_m = 49$  водитель находится, в большинстве случаев, в состоянии адаптации при значениях относительной организации системы, лежащих в рамках нормального режима работы. При  $H_m = 64$  движение водителя происходит в состоянии функционального комфорта с небольшой монотонией при норме относительной организации системы. Увеличение максимальной энтропии до  $H_m = 81$  обеспечивает аналогичное состояние системы, как при  $H_m = 64$ .

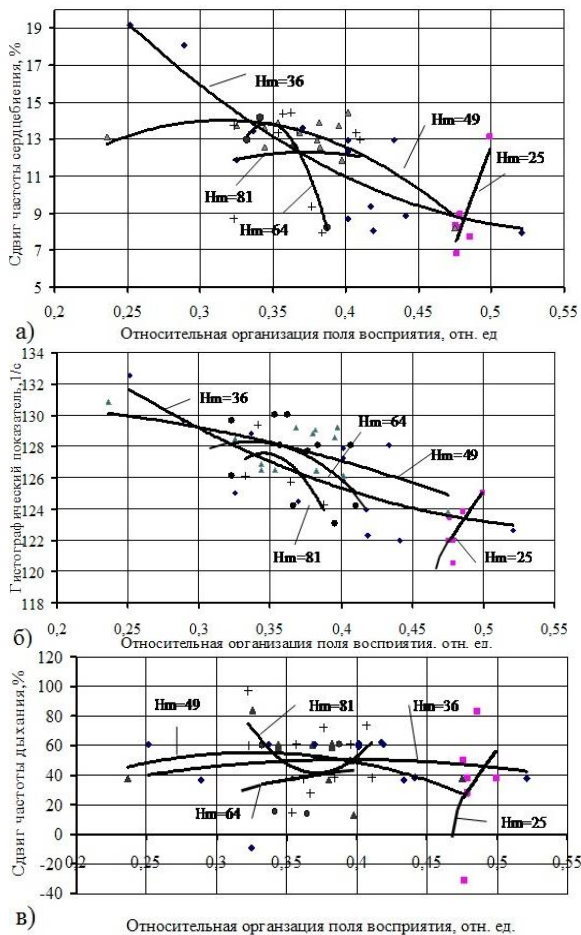


Рис. 2. Зависимость: а) сдвига частоты сердцебиений; б) гистографического показателя; в) сдвига частоты дыхания от относительной организации поля восприятия при  $H_m = const$ .

Согласно характеристике фаз состояния напряженности и стресса (по Э. В. Гаврилову [1]) значения гистографического показателя характеризуют состояние адаптации (функционального комфорта) водителя при движении по дороге, на которой обеспечивается комфортная среда. При  $H_m = 64$  и  $81$  (рис. 2, б) разброс значений относительной организации поля восприятия водителя меньше и его значение приближается к оптимальному  $R_{mv} = 0,364$ , установленному по показаниям работы сердца водителя. Ближе к детерминированности показателя  $R_{mv}$  относится диапазон значений гистографического показателя при  $H_m = 25$ , причем гистографический показатель имеет наименьшее значение.

Наибольший разброс сдвига частоты дыхания (рис. 2, в) происходит при  $H_m = 25$ , причем при почти стабильных значениях относительной организации поля восприятия водителя. При значениях  $H_m = 49$  и  $H_m = 36$  относительная организация поля восприятия изменяется в широких диапазонах. Минимальный сдвиг частоты дыхания присутствует при  $H_m = 64$  и изменяется в незначительных диапазонах

относительной организации поля восприятия водителя, что доказывает гипотезу оптимального значения  $R_{mv} = 0,364$  по показаниям работы сердца водителя. Исходя из проведенного анализа оптимальное число факторов дорожной среды, находящихся в пределах поля восприятия может быть принято в пределах 8 элементов.

## Выводы

Установлены закономерности влияния относительной организации поля восприятия водителя на его функциональное состояние. Установлено оптимальное значение относительной организации поля восприятия водителя, при котором организм водителя пребывает в норме или в состоянии функционального комфорта, равно  $0,364$ . Установлено, что оптимальное число факторов дорожной среды, находящихся в пределах поля восприятия и не приближающих водителя к состоянию напряженности, равно восьми.

## Литература

1. Гаврилов Э. В. Теоретические основы проектирования и организации условий дорожного движения с учетом закономерностей поведения водителей: дис. ... д-ра техн. наук: / Э. В. Гаврилов. – ХАДИ – Харьков, 1990. – 450 с.
2. Душков Б. А. Основы инженерной психологии / Б. А. Душков, А. В. Королев, Б. А. Смирнов. – Москва: Академический проект, 2002. – 576 с.
3. Голованенко Н. С. Оценка эргономического качества автомобильных дорог и условий движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. С. Голованенко. – ХАДИ. – Харьков, 1983. – 25 с.
4. Коваленко Л. А. Оценка пропускной способности двухполосных автомобильных дорог с учетом закономерностей поведения водителей: автореф. дисер. ... канд. техн. наук / Л. А. Коваленко. – НТУ. – Киев, 2003. – 20 с.
5. Саркісян М. В. Удосконалення методів психологічного і примусового регулювання швидкостей руху на автомобільних дорогах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. В. Саркісян. – Харк. нац. автомоб.-дорож. ун-т. – Харьков, 2003. – 20 с.
6. Сирота В. М. Эргономическая оценка характеристик процесса обучения человека вождению автомобиля: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. В. Сирота. – Харьк. нац. акад. гор. хоз. – Харьков, 2006. – 18 с.
7. Angkititrakul P. Evaluation of driver-behavior models in real-world car-following task / P. Angkititrakul, T. Ryuta, T. Wakita, (Edc). // Proceedings of the IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES '09) – Pune, India, 2009. – P. 113–118.
8. Karel A. B. Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures / A. B. Karel, Dick de Waard // Accident Analysis and Prevention, 2010. – Vol. 42 (3). – P. 898–903.
9. Itoh M. Driver's status monitor / M. Itoh, Y. Mizuno, S. Yamamoto, and S. Mori. // Proceedings of the 21st



*International Workshop on Biomedical Data Engineering. – Tokyo, 2005. – 6 p.*

10. Ramon C. *An integrated platform to assess driver's physiological and functional states / C. Ramon, A. Clarion, C. Gehin, C. Petit, C. Collet, A. Dittmar // Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2008. – P. 506–509.*

11. Баевский П. М. *Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / П. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. З. Клецкин. – Москва: Наука, 1984. – 221 с.*

### References

1. Gavrilov E. V. (1990). *Theoretical bases of the design and organization of road traffic, taking into account patterns of driver behaviour: dis. ... d–RA. tech. Sciences / E. V. Gavrilov, Eduard; Hark. automobile.–dorozhn. in–t. Kharkov, 450 p.*

2. Dushkov B. A., Korolev A. V., Smirnov B. A. (2002). *Foundations of engineering psychology. Moscow, Business book, 576.*

3. Golovanenko N. C. (1983). *Assessment of the ergonomic quality of roads and driving conditions: abstract. dis. kand. tech. Sciences. Khark. automobile.–dorozhn. in–t. Kharkov, 25.*

4. Kovalenko A. A. (2003). *The bandwidth Estimation of two-lane roads, taking into account patterns of driver behaviour: Avtoref. diser. kand. tech. Sciences. NTU. Kyiv, 20.*

5. Sargsyan M. V. (2003). *Improvement of methods of psychological and forcing regulation of speed on highways: abstract. dis. kand. tech. Sciences. Hark. NAT. automobile.–dorozh. Univ. Kharkov, 20.*

6. Orphan, V. M. (2006). *Ergonomic assessment of the characteristics of the learning process of a person driving a*

*car: author. dis. kand. tech. Sciences. Khark. NAT. Acad. mountains. khoz. Kharkov, 18.*

7. Angkitrakul P., Ryuta T., Wakita T., (Edc). (2009). *Evaluation of driver-behavior models in real–world car–following task. Proceedings of the IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES '09). Pune, 113–118.*

8. Karel A. B., Dick de Waard (2010). *Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures, 42 (3), 898–903.*

9. Itoh M., Mizuno Y., Yamamoto S., Mori S. (2005). *Driver's status monitor. Proceedings of the 21st International Workshop on Biomedical Data Engineering. Tokyo, 6.*

10. Ramon C., Clarion A., Gehin C., Petit C. (2008). *An integrated platform to assess driver's physiological and functional states. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 506–509.*

11. Baevsky R. M., Kirillov A. S., Klechkin S. Z. (1984). *Mathematical analysis of changes in cardiac rhythm during stress. Moscow. Nauka, 221.*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И. Э. Линник  
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, г. Харьков.

**Автор:** КУЛЬБАШНАЯ Надежда Ивановна  
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, Харьков, старший преподаватель  
E-mail – kulbaka.nadya@yandex.ru

## ВІДПОВІДНІСТЬ УМОВ ДОРОЖНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ФУНКЦІОНАЛЬНОМУ СТАНУ ВОДІЯ

Н.І. Кульбашна

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків

У даній статті виконана оцінка відповідності умов руху за показниками функціонального стану водія. В якості характеристик функціонального стану водія пропонується використовувати гистографічний показник, зсув частоти серцебиття і дихання. Визначено закономірності впливу факторів дорожнього середовища, що оцінюються комплексною характеристикою – відносною організацією поля сприйняття водія, на функціональні характеристики водія.

**Ключові слова:** водій, умови руху, дорожнє середовище, функціональний стан, взаємодія із середовищем.

## THE RELATION BETWEEN THE ROAD ENVIRONMENT CONDITIONS AND A DRIVER'S FUNCTIONAL STATE

N. Kulbashnaya

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

As the criteria to evaluate the ergonomic support of traffic conditions, entropy characteristics are suggested being applied, which provide the possibility to estimate the influence of all factors of the road environment on a driver. To investigate the 'driver – car – road environment' system under different conditions, it is proposed to take into consideration its state in certain ranges of values under which the maximum entropy remains the same. Therefore, the dependence of the driver's functional characteristics on the relative organization of the visual field is estimated by the gradation of the maximum entropy values. The analysis of the relation between the indicators of a driver's functional state and the relative organization of a driver's visual field has been carried out, which makes possible to determine its optimal value, under which a driver's state is normal or a driver is in the zone of comfort. As it has also been discovered, the optimal number of the road environment factors within the visual field and which do not cause the driver's tension is equal to eight.

**Keywords:** driver, traffic conditions, road environment, functional status, interaction with the environment.