

Научная статья
УДК 656.13.08

Изучение особенностей влияния различных планировочных условий на состояние водителей

Андрей Игоревич Воробьев¹, Максим Викторович Гаврилюк²,
Виталий Витальевич Дронсейко³, Марина Александровна Мигалева⁴,
Антон Леонидович Дергачев⁵

^{1,2,3}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

^{4,5}Государственное автономное учреждение города Москвы «Научно-исследовательский и проектный институт Генерального плана города Москвы» (ГАУ «Институт Генплана Москвы»),
Москва, Россия

¹andrey552@yandex.ru

²poligonmadi@gmail.com

³drons123@yandex.ru

⁴mmigaleva@genplanmos.ru

⁵adergachev@genplanmos.ru

Аннотация. Статья посвящена экспериментальным исследованиям распределения внимания водителя в зависимости от ширины полосы движения, а также степени ее влияния на уровни агрессии, стресса и мыслительной деятельности. Исследование проведено по заказу ГАУ Институт Генерального плана Москвы, полученные результаты включены в состав научно-исследовательской работы «Исследование влияния геометрических параметров съездов пересечений в разных уровнях и ширин полос движения на улицах и дорогах населенных пунктов на движение транспортных потоков». Исследование проведено на базе исследовательского комплекса ПФМ МАДИ-1 с применением систем трекинга взгляда. На основе проведенного эксперимента сформулированы рекомендации о назначении скоростного режима в зависимости от изменения геометрических параметров дороги.

Ключевые слова: внимание водителя, эксперимент, трекинг взгляда, геометрические параметры дороги.

Для цитирования: Воробьев А.И., Гаврилюк М.В., Дронсейко В.В., Мигалева М.А., Дергачев А.Л. Изучение особенностей влияния различных планировочных условий на состояние водителей // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. №3 (41).

Original article

Studying the peculiarities of the influence of various planning conditions on the condition of drivers

**Andrey I. Vorobyev¹, Maxim V. Gavriluk², Vitaly V. Dronseiko³,
Marina A. Migaleva⁴, Anton L. Dergachev⁵**

^{1,2,3}Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), Moscow, Russia

^{4,5}State Autonomous Institution of the city of Moscow "Scientific Research and Design Institute of the General Plan of the city of Moscow" (GAU "Institute of the General Plan of Moscow"), Moscow, Russia

¹andrey552@yandex.ru

²poligonmadi@gmail.com

³drons123@yandex.ru

⁴mmigaleva@genplanmos.ru

⁵adergachev@genplanmos.ru

Abstract. The research article is devoted to experimental studies of driver's attention distribution depending on the lane width, as well as the influence on the levels of aggression, stress and thinking activity. The correct assignment of speed mode taking into account the geometric conditions of the road allows to increase the comfort of driving. To conduct the study, international and domestic experience of conducting experiments investigating driver perception and attention during driving was analyzed. The goals and objectives of the experiment, the procedure for conducting the experiment, the list of necessary equipment and the number of respondents were determined. The research was conducted on the basis of the MADI-1 PFM research complex and eye-tracking systems. On the result of the experiment, recommendations are formulated on the assignment of the speed mode depending on the changes in the geometric parameters of the road.

Keywords: driver attention, experiment, eye tracking, geometric parameters of the road.

For citation: Vorobyev A.I., Gavriluk M.V., Dronseiko V.V., Migaleva M.A., Dergachev A.L. Studying the peculiarities of the influence of various planning conditions on the condition of drivers. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. № 3 (41).

Введение

В вопросе психофизиологических особенностей восприятия информации водителем, наибольшую роль занимает оценка распределения визуального внимания водителя, поскольку подавляющая часть

поступающей информации водителю поступает через зрительные органы чувств. При этом поступающий объём информации после проведенной фильтрации преобразуется в узкий спектр внимания, направленного на наиболее важные объекты, оказывающие влияние на обеспечение безопасного движения транспортного средства.

Целью экспериментального исследования распределения внимания водителя в зависимости от ширины полосы движения, а также степени ее влияния на уровни агрессии, стресса и мыслительной деятельности. Основываясь на известных психофизиологических особенностях восприятия водителей во время движения сформулирована цель исследования: выявить рекомендованные значения скоростного режима способные обеспечить максимально безопасные и комфортные условия для водителя на автомобильных дорогах, обладающих различными геометрическими параметрами. Проведение эксперимента дает возможность получения достоверной информации о психофизиологическом состоянии водителя при использовании комплекса, позволяющего моделировать необходимую среду.

Методика проведения экспериментального исследования

Для проведения экспериментальных исследований, выполнены следующие задачи:

- определен маршрут движения в имитационной среде с участками полос движения шириной 2,75м, 3,20м и 3,75м;
- разработан перечень сценариев для создания различных внешних условий движения, в которых отражены уровень загрузки, время суток, погодные условия и скоростные характеристики движения на различных участках;
- определены требования к респондентам;
- определен перечень выходных данных.

Для оценки психофизиологического состояния водителя, измеряются следующие параметры:

1. Активность мыслительной деятельности. Измерение этого параметра позволяет оценить когнитивную нагрузку водителя во время движения по маршруту. В качестве основных источников информации во время движения выделены:

- технические средства организации дорожного движения (ТСОДД);
- визуальное восприятие дороги;
- объекты придорожной инфраструктуры;
- иные участники дорожного движения;
- иные объекты.

Активность мыслительной деятельности изменяется в зависимости от числа объектов, с которыми происходит информационный обмен. Оценка изменения показателя данного параметра будет производиться в зонах, где возможно размещения максимального числа объектов для того, чтобы стимулировать повышение умственной активности и далее оценивать с учетом заданных параметров внешних условий.

2. Уровень стресса и уровень агрессии. Некомфортные или непривычные условия движения влияют на водителя, что ведет изменению показателей уровней стресса и агрессии. В определенных зонах маршрута задействован лидер-провокактор, для воздействия на испытуемого водителя.

3. Распределение внимание водителя. Позволяет оценить число объектов, находящихся в поле зрения водителя в момент времени.

4. Время фиксации взгляда на объекте. Позволяет оценить качество восприятия информации водителем.

Для параметров 3 и 4 в качестве основных объектов, на которых будет регистрироваться фиксация, будут выступать дорожные знаки, рекламные щиты, другие участники дорожного движения, светофоры, дорожное полотно.

Маршрут движения закольцован и проходит через городские улицы с шириной полосы 2,75, 3,20 и 3,75 метров (рис. 1). На участках маршрута выделены зоны с ограничением скорости. Согласно заданным настройкам, транспортные средства внутри имитационной модели не нарушают скоростной режим и используют ограничения скорости в качестве ориентира, при этом при попадании на участок происходят плавный набор и сброс скорости.

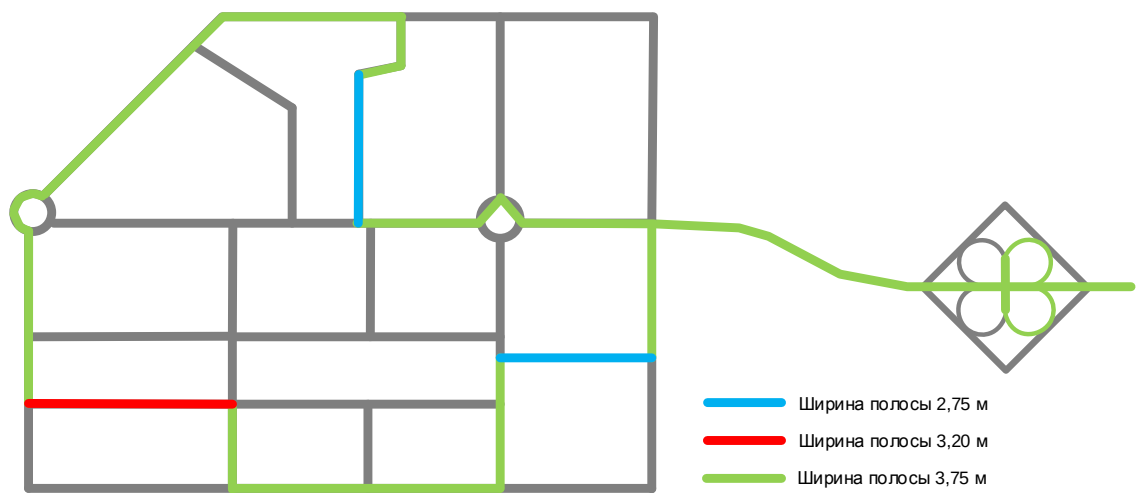


Рис. 1. Участки с различной шириной полос

Для проведения эксперимента выбраны определенные условия движения (табл. 1).

Таблица 1

Условия движения

№ условия	Время суток	Уровень загрузки (Z)	Погодные условия
1 условие	Светлое время суток (Утро)	Z=0,8	Ясно
2 условие	Темное время суток (Сумерки)	Z=0,8	Осадки
3 условие	День	Z=0,5	Пасмурно
4 условие	Ночь	Z=0,3	Туман

Описанные в таблице 1 вариации параметров окружающей среды подбирались как наиболее вероятные и часто встречающиеся при движении в реальных дорожных условиях.

Основными инструментами по оценке психофизиологического состояния водителя являлись комплекс психофизиологического мониторинга (ПФМ) МАДИ-1 (рис. 2.) и прибор для трекинга взгляда.

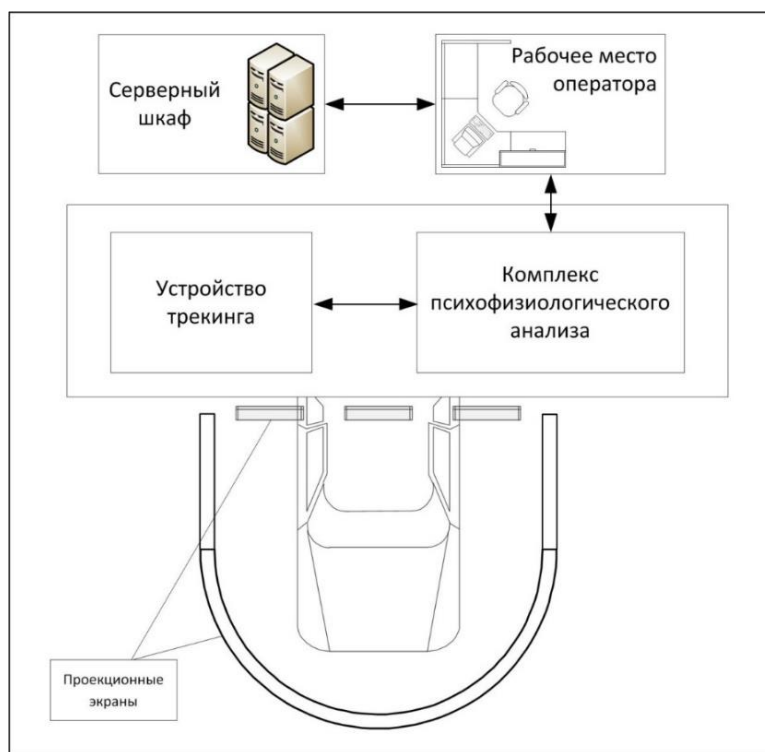


Рис. 2. Исследовательский комплекс ПФМ МАДИ-1

Комплекс ПФМ МАДИ-1 позволяет вести синхронную запись с камер монтируемого на голову устройства.

Комплекс ПФМ МАДИ-1 позволяет выполнять следующие задачи:

- определять фокус внимания водителя на камере фиксации зрительной картины;
- вести статистическую обработку фокуса внимания в зоне информационного носителя с учетом его динамического изменения в процессе движения, вести статистическую обработку различных зон концентрации внимания, расположенных на рабочей поверхности информационного носителя;
- производить мониторинг психофизиологического состояния водителя в следующем виде: реограмма, фотоплетизмограмма, пневмограмма, плетизмограмма, механограмма;

- визуализировать статистическую информацию (рис. 3).

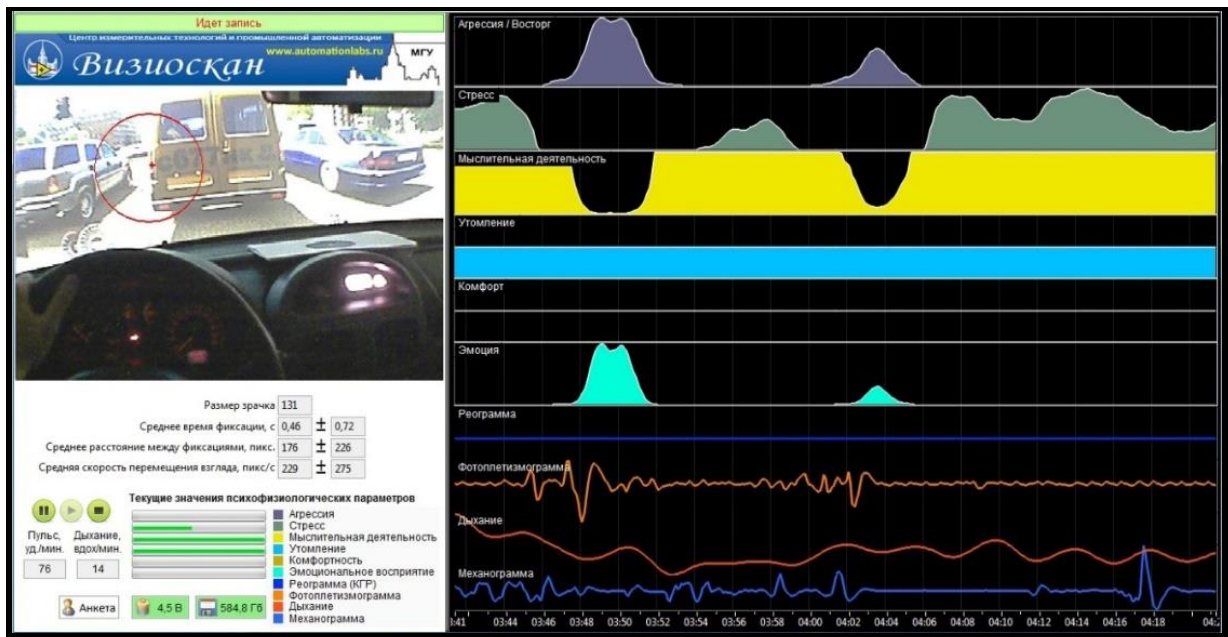


Рис. 3. Визуализация статистической информации

Расчет размера выборки и требований к респондентам

С математической точки зрения исследование представляет собой определение среднего значения изучаемого признака с доверительной вероятностью $(1-\alpha)$ 95% и точностью интервальной оценки 10%.

Для генеральной совокупности, имеющей нормальный закон распределения с доверительной вероятностью $(1-\alpha)$ среднее значение $\bar{x}$ находится в доверительном интервале:

$$\bar{x} - z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Точность интервальной оценки находится по формуле:

$$E = z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Примем ее равной 10%.

Искомый объем выборки находится по формуле:

$$n = \left(\frac{\frac{Z_{\alpha} \sigma}{2}}{E} \right)^2$$

Из опыта проведения подобных экспериментов установлено, что среднеквадратичное отклонение $\sigma \cong 28\%$. [4]

Значение критической точки для распределения Стьюдента $\frac{Z_{\alpha}}{2}$ для числа степеней свободы более 500 и уровня значимости $\alpha = 10\%$ равно 1,965 для двухсторонней области.

Тогда минимальный объем выборки считается как:

$$n = \left(\frac{\frac{Z_{\alpha} \sigma}{2}}{E} \right)^2 = \left(\frac{1,965 \cdot 28}{10} \right)^2 = 30,27 \cong 31 \text{ респондент.}$$

В ходе эксперимента проанализировано 50 респондентов.

Репрезентативная выборка респондентов в рамках настоящего исследования состоит из двух основных групп (табл. 2).

Таблица 2

Итоговая выборка респондентов

Стаж/пол	Количество водителей мужского пола	Количество водителей женского пола	Общее количество респондентов
1 группа (до 3-х лет)	1	1	2/4%
2 группа (более 3-х лет)	36	12	48/96%
Σ	37	13	50/100%

Результаты исследования

При проведении испытания для каждого респондента оператор выполняет одну и ту же последовательность действий для каждого сценария. Процесс калибровки оборудования осуществляется оператором для каждого респондента. Респондент помещается в имитационную среду и начинает движение по маршруту. Оператор не влияет на выбор полосы движения и следит за соблюдением респондентом маршрута движения. По окончании движения данные о поездке сохраняются для последующей обработки. Для оценки достоверности полученных результатов используется показатель

величины достоверности аппроксимации. Для данного типа исследований значение допустимой ошибкой в корреляции составляет 10%. Такой показатель допустимой ошибки принимается из-за большого количества шумовых данных, которые регистрируются для различных водителей. Величина достоверности аппроксимации (R^2) варьируется в допустимых пределах (от 0,9 до 1), достоверность и репрезентативность выборки обеспечивается.

На рисунках 4 и 5 представлены данные распределения внимания и изменение уровней агрессии, стресса и мыслительной деятельности.

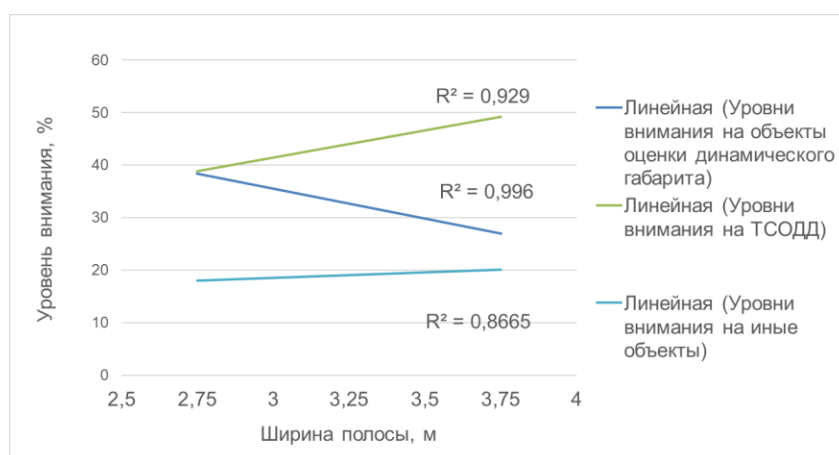


Рис. 4. Распределение уровня внимания в зависимости от ширины полосы для всех респондентов

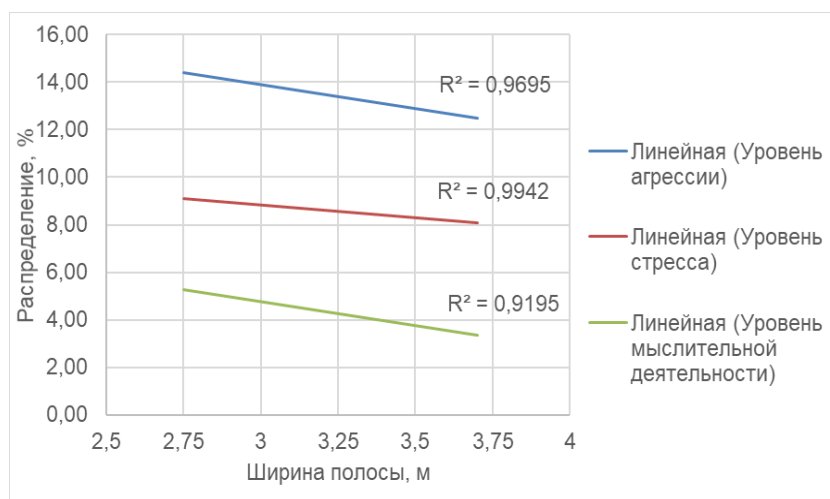


Рис. 5. Изменение уровней агрессии, стресса и мыслительной деятельности в зависимости от ширины полосы движения по всем респондентам

По результатам анализа данных, полученных в ходе эксперимента, можно сделать вывод, что при уменьшении ширины полосы движения регистрируются рост уровня агрессии и распределения внимания.

Данные об изменении показателя средней скорости на участке представлены на рис. 6. Анализ средней скорости движения на участке показывает снижение показателя при движении на более узких участках дорог.

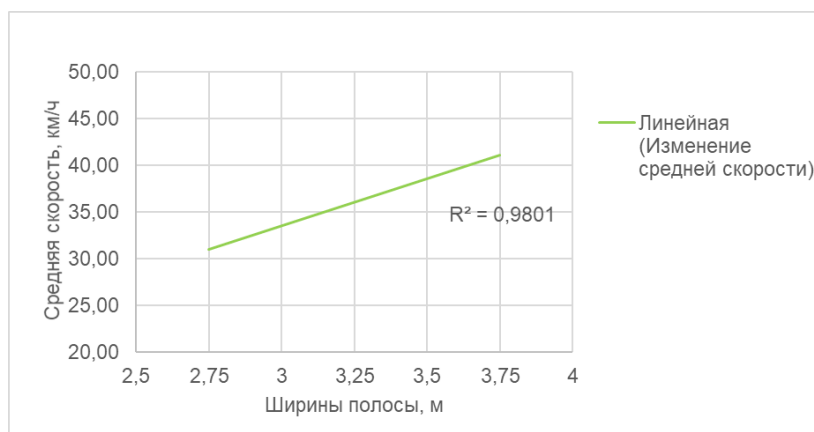


Рис. 6. Изменение средней скорости в зависимости от ширины полосы движения по всем респондентам

Фактор снижения средней скорости на участке при изменении ширины полосы показывает о возможности применения подобных решений как инструмента успокоения движения. При этом следует учитывать риски, связанные с изменениями эмоциональных реакций водителей, что может повлечь конфликтные ситуации. Таким образом, принятие решений по изменению ширины проезжей части требует индивидуального подхода с учетом анализа всех факторов и условий движения на участке.

Заключение

По итогам проведения эксперимента можно сделать вывод, что наиболее комфортная ширина полосы составляет 3,75 метров. Построенные зависимости изменения уровня внимания водителя и психофизиологических показателей отражают адекватную реакцию человека на изменения

геометрических особенностей участков. Сужение полосы движения приводит к снижению средней скорости движения по участку, а также повышает уровень стресса и агрессии водителя, в связи с необходимостью повышения концентрации при движении в более узком динамическом коридоре.

Выбор оптимальной ширины полосы движения при необходимости ее сужения менее 3,75 метров должен обосновываться индивидуально с учетом особенностей участка и достаточности мероприятий, обеспечивающих должный уровень безопасности дорожного движения.

Список источников

1. Паршутина, М. В. Влияние наружной рекламы на восприятие водителем дорожной обстановки / М. В. Паршутина, С. В. Жанказиев // Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – № 3(15). – С. 125-131. – DOI 10.12731/2306-1561-2015-3-12. – EDN VEHFZH.
2. Майборода, О. В. Анализ путей повышения качества дорожного движения / О. В. Майборода, В. А. Окружнов, А. Е. Чебышев // Научный вестник автомобильного транспорта. – 2020. – № 1. – С. 35-50. – EDN BFMMPK.
3. Солодкий, А. И. Транспортная инфраструктура: учебник и практикум / А. И. Солодкий, А. Э. Горев, Э. Д. Бондарева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 327 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-15707-9. – EDN PZQKSG.
4. Оптимизация скоростных режимов в условиях города / С. В. Жанказиев, А. И. Воробьев, М. В. Гаврилюк, В. В. Новизенцев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 4(67). – С. 99-103. – EDN IEEBEM.
5. Васильченко, А. С. Психофизиологические основы деятельности водителей и безопасность дорожного движения / А. С. Васильченко, С. В. Шпорт, В. Г. Булыгина // Российский психиатрический журнал. – 2018. – № 5. – С. 4-9. – EDN YMBRJR.
6. Liyu, Wu Relationship between Lane Width and Safety along Urban Expressways in Shanghai / Wu Liyu, Sun Jian, Li Tienan // Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems – Volume 145, Issue 3 – 2018 – <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000216>.

7. Нормирование ширины полосы движения на магистральной улично-дорожной сети / И. А. Бахирев, С. Э. Канеп, М. А. Мигалева [и др.] // Архитектура и строительство России. – 2023. – № 2(246). – С. 74-77. – DOI 10.55394/02357259_2023_2_74. – EDN RAVBKH.
8. Лобанов, Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учётом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. – Москва : Транспорт. – 1980. – 311 с.

References

1. Parshutina M. V., ZHankaziev S. V. *Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemah*, 2015, no. 3(15), pp. 125-131.
2. Majboroda O. V., Okruzhnov V. A., CHEbyshev A. E. *Nauchnyj vestnik avtomobil'nogo transporta*, 2020, no. 1, pp. 35-50.
3. Solodkij A. I., Gorev A. E., Bondareva E. D. *Transportnaya infrastruktura* (Transport infrastructure), Moscow, YUrajt, 2022, 327 p.
4. ZHankaziev S. V., Vorob'ev A. I., Gavriluk M. V., Novizencev V. V. // *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2021, no. 4(67), pp. 99-103.
5. Vasil'chenko A. S., SHport S. V., Bulygina V. G. *Rossijskij psihiatricheskij zhurnal*, 2018, no. 5, pp. 4-9.
6. Wu Liyu, Sun Jian, Li Tienan Relationship between Lane Width and Safety along Urban Expressways in Shanghai, *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, Vol. 145, Issue 3, 2018.
7. Bahirev I.A.1, Krestmejn M.G.1, Kanep S.E.1, Migaleva M.A.1, Izmajlov M.M. *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*, 2023, no. 2(246), pp. 74-77.
8. Lobanov E.M. *Proektirovanie dorog i organizatsiya dvizheniya s uchytom psihofiziologii voditelya* (Road design and traffic management taking into account the psychophysiology of the driver), Moscow, Transport, 1980, 311 p.

Рецензент: Ю.А. Короткова, канд, техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Воробьев Андрей Игоревич, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Гаврилюк Максим Викторович, ст. преподаватель, МАДИ.

Дронсейко Виталий Витальевич, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Мигалева Марина Александровна, начальник сектора организации дорожного движения, ГАУ «Институт Генплана Москвы».

Дергачев Антон Леонидович, начальник мастерской развития транспортной инфраструктуры, ГАУ «Институт Генплана Москвы».

Information about the authors

Vorobyev Andrey I., candidate of sciences (technical), associate professor, MADI.

Gavrilyuk Maxim V., senior lecturer, MADI.

Dronseiko Vitaly V., candidate of sciences (technical), associate professor, MADI.

Migaleva Marina A., head of the traffic management sector,
GAU "Institute of the General Plan of Moscow".

Dergachev Anton L., head of the transport infrastructure development workshop,
GAU "Institute of the General Plan of Moscow".

Статья поступила в редакцию 16.09.2024; одобрена после рецензирования 23.09.2024; принята к публикации 25.09.2024.

The article was submitted 16.09.2024; approved after reviewing 23.09.2024; accepted for publication 25.09.2024.