

# РАЗРАБОТКА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА ОТ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ НА УЛИЦАХ С НЕРЕГУЛЯРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Т. Г. Бабич, А. А. Тестешев

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## DETECTION OF CORRELATION DEPENDENCIES BETWEEN TRAFFIC DEMAND AND POPULATION DENSITY ON STREETS WITH IRREGULAR TRAFFIC

Tatyana G. Babich, Alexander A. Testeshev

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные пути решения проблемы, связанной с ограниченным количеством информации о параметрах транспортных потоков на улично-дорожной сети на стадии разработки проектной документации на улицы с нерегулярным транспортным спросом. Поставлена задача интерпретировать данные, полученные посредством удаленного мониторинга, в уравнения нахождения интенсивности на улицах с нерегулярным режимом движения. При проведении экспериментов был получен репрезентативный объем статистических данных, по результатам которых разработаны графические модели зависимости интенсивности движения от плотности населения. Математическое описание графических данных было представлено в виде частных уравнений, которые учитывали дифференциальное влияние значимых факторов в районах различного функционального назначения. Целесообразность использования разработанных функций определяется возмож-

**Abstract.** This article discusses the main ways to solve the problem associated with limited information about the parameters of traffic flows on the network of streets at the stage of development of construction project drawings and specifications for streets with irregular transport demand. The task was to interpret the data obtained through remote monitoring, in the equations of finding the intensity on the streets with an irregular traffic. During the experiments, a large volume of statistical data was obtained. Based on it graphical models of dependencies of traffic intensity and population density were developed. The mathematical description of the graphical data was presented as the particular equations that took into account the differential influence of significant factors in areas of various functional purposes. The reasonability of using the developed functions is determined by the possibility of finding the required characteristics with minimal expenses of resources. A formalized model of multifactor dependence based on the

ностью нахождения искомым характеристик с минимальными ресурсными затратами. Предложена формализованная модель многофакторной зависимости, которая на основе синтеза частных уравнений учитывает все отобранные параметры. Сформирован вывод о дальнейших направлениях исследования, а именно: о возможности проверки уравнений на населенных пунктах ближнего и дальнего зарубежья и расчете экономической оценки взамен существующих методик.

**Ключевые слова:** транспортный поток, нерегулярное движение, плотность населения, интенсивность движения, здания с общественной функцией

**Для цитирования:** Бабич, Т. Г. Разработка корреляционных зависимостей транспортного спроса от плотности населения на улицах с нерегулярным движением / Т. Г. Бабич, А. А. Тестешев. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-3-39-45. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 3 (101). – С. 39–45.

**For citation:** Babich, T. G. & Testeshev, A. A. (2022). Detection of correlational dependencies between traffic demand and population density on streets with irregular traffic. Architecture, Construction, Transport, (3(101)), pp. 39-45. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2022-3-39-45.

### Введение

В настоящее время улично-дорожная сеть крупных и крупнейших городов постоянно развивается: растет уровень автомобилизации, численность населения, что приводит к необходимости увеличивать площади городских территорий (осваивать ранее неиспользованные земли, отводить их под строительство жилых микрорайонов). Для повышения качества жизни в действующей стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025<sup>1</sup> поднимается вопрос развития улично-дорожной сети, по-

вышения транспортной доступности и качества городской инфраструктуры. Реализация стратегии, представляющая собой осуществление программ комплексного развития транспортной инфраструктуры города<sup>2</sup>, предопределяет работу, направленную на эффективность результатов за счет проектной деятельности.

synthesis of particular equations and took into account all selected parameters, has been proposed. The conclusion on the future research was formed, namely about the possibility of testing the equations for the settlements of near and far abroad and the calculation of the economic evaluation to replace the existing methods.

**Key words:** traffic flow, irregular traffic, population density, traffic intensity, buildings with a public function

вышения транспортной доступности и качества городской инфраструктуры. Реализация стратегии, представляющая собой осуществление программ комплексного развития транспортной инфраструктуры города<sup>2</sup>, предопределяет работу, направленную на эффективность результатов за счет проектной деятельности.

Исходной информацией на начальном этапе проектирования являются системные сведения из разных сфер человеческой деятельности, в частности транспортной подвижности населения, иллюстрирующие активность жителей, от-

---

<sup>1</sup> О реализации транспортной стратегии : Постановление Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации № 129-СФ : утверждено 13 апреля 2022 года. – Текст : электронный // Совет Федерации Федерального собрания Российской Федерации : сайт. – 2022. – URL: <http://council.gov.ru/media/documents/pdf/mb4E0D0Th74OaePogWxE3CdF6P7wclEB.pdf> (дата обращения: 27.04.2022).

<sup>2</sup> Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов : Постановление Правительства РФ № 1440 : утверждено Правительством РФ 25 декабря 2015 года. – Текст : электронный // Консорциум Кодекс : сайт. – 2022. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420327246> (дата обращения: 08.05.2020).



Рис. 1. Использование данных об интенсивности движения на стадиях разработки проектов

ражающие потребность населения в перемещении на автомобильном транспорте.

Моделирование жизненного цикла проекта<sup>3</sup> с применением информации о транспортной ситуации может быть представлено в виде каскадной модели, отображенной на рис. 1.

В качестве исходных данных для проектной деятельности также необходимы прогнозы транспортного спроса, изменения объемов и характера передвижения, характеристики сети дорог и параметры дорожного движения (скорость, плотность, интенсивность и состав движения [1, 2]).

Немаловажную роль в понимании и решении проблемы играет информация не только об улицах, образующих скелетный каркас города, движение по которым является высокоинтенсивным и осуществляется регулярно, но и о подводящих к ним улицах с нерегулярным движением. К таким относятся улицы местного значения, местные проезды, улицы в зонах жилой застройки и т. д. Как правило, в качестве приоритетного объекта исследования выбираются улицы с регулярным движением посредством использования метода дистанционного спутникового мониторинга [3], который позволяет минимизировать ресурсные затраты при определении параметров транс-

портного потока. Методика разработана с расчетом на узкое применение результатов (позволяет определить интенсивность на улицах с регулярным движением), поскольку на объектах с нерегулярным транспортным спросом наблюдается высокая погрешность определения результатов (отклонения более 26 %), что является недопустимым [4]. В то же самое время значительная часть улично-дорожной сети ( $\approx 22\%$ ) относится к улицам с нерегулярным движением, в связи с чем разработка метода по определению интенсивности на данных улицах представляет научный и практический интерес.

### Объект и методы исследования

Объектом исследования определен транспортный поток с малой интенсивностью движения на улицах с нерегулярным транспортным спросом. Предметом исследования приняты характеристики транспортных потоков на улицах с нерегулярным транспортным спросом. Применяются теоретический и расчетно-аналитический методы исследования. В ходе работы предлагается использовать математический аппарат в рамках теории массового обслуживания, теории транспортных потоков и теории статистики.

<sup>3</sup> Руководство по реализации проектов. Книга 6. – Текст : электронный // Минстрой России : сайт. – 2020. – URL: [https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/3d9/06\\_Kniga-6\\_Rukovodstvo\\_po\\_realizatsii\\_proektov.pdf](https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/3d9/06_Kniga-6_Rukovodstvo_po_realizatsii_proektov.pdf) (дата обращения: 29.04.2022).

## Результаты

На подготовительном этапе исследования были идентифицированы факторы, влияющие на изменение интенсивности движения, и были определены наиболее значимые из них [5], а именно:

- плотность населения (определяется исходя из наличия и вместимости жилых зданий и сооружений);
- наличие и вместимость обучающих школьных и дошкольных учреждений;
- наличие и площадь торговых зон и предприятий сферы услуг.

Перед сбором данных был изучен размах интенсивности движения в течение суточного цикла города [6], анализ которого показал, что изменение интенсивности имеет хаотичный порядок. В результате в качестве единицы измерения была принята суточная интенсивность, ко-

торая суммарно отражает объем движения. Для формирования банка данных об интенсивности движения (ее числовых характеристиках в течение суточного цикла, влиянии на нее различных параметров) ведется сбор системной информации с 2018 года. Объем выборки необходимого количества экспериментов с учетом вышеописанных факторов составил 512 улиц, данное число объектов обосновано расчетом по методу Я. В. Хомяка [7].

Ранее авторами были разработаны частные зависимости интенсивности движения от плотности населения с учетом только вместимости образовательных учреждений (средних образовательных школ) [8]. В продолжение начатого исследования были собраны данные об изменении транспортного спроса на других значимых объектах транспортной инфраструктуры и разработаны

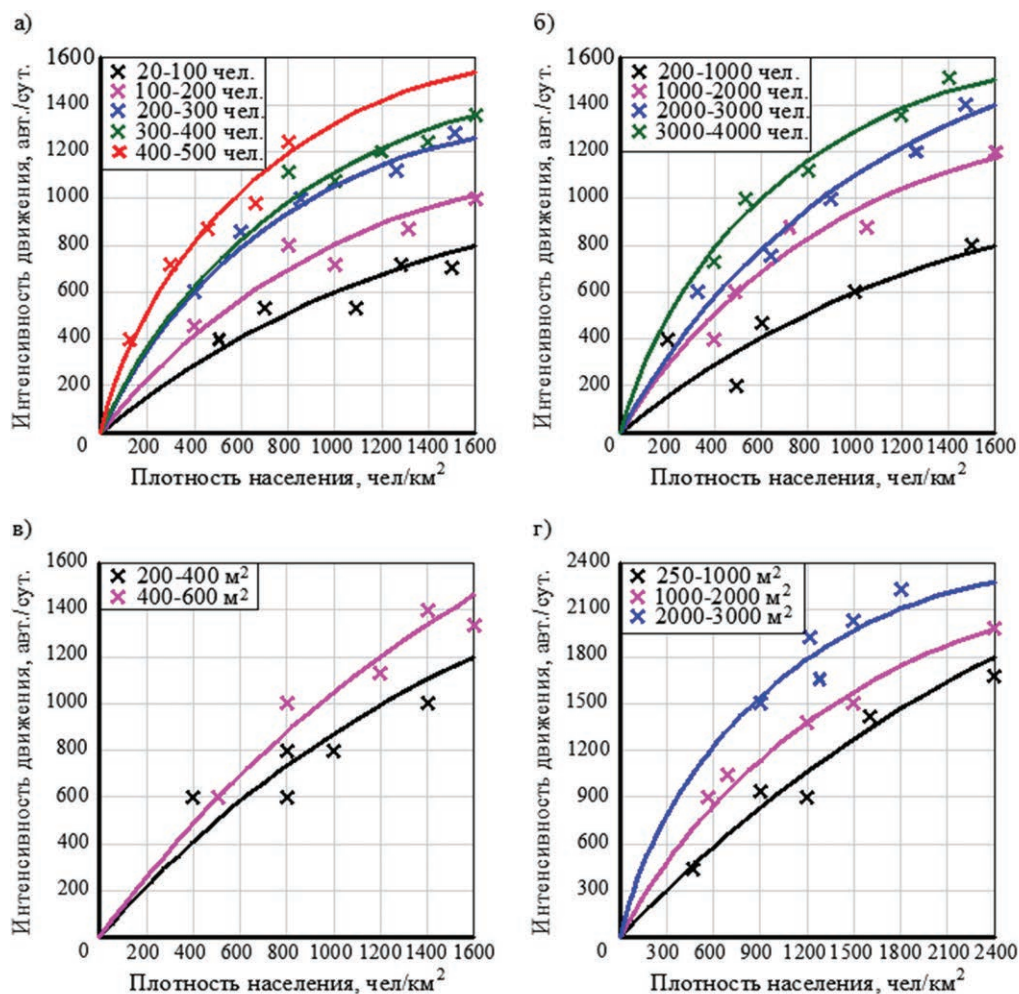


Рис. 2. Графики зависимости интенсивности движения от плотности населения

графики зависимости интенсивности движения от плотности населения с учетом их наличия (рис. 2):

- обучающих школьных (рис. 2а) и дошкольных (рис. 2б) учреждений в зависимости от их вместимости;
- предприятий сферы услуг (рис. 2в) и торговых зон (рис. 2г) в зависимости от площадных характеристик помещений.

Представленные графические зависимости были описаны математическими функциями с использованием MS Excel. Для математического описания применяли квадратичные функции, где

в качестве переменной величины принята плотность населения в районах функционального назначения. Разработанные уравнения с оценкой достоверности представлены в таблице 1.

Оценка точности разработанных зависимостей происходила по коэффициенту корреляции (таблица 1).

При расчете параметров транспортного потока был получен коэффициент корреляции не менее 0,85 (с предельным отклонением 15 % [9]), что характеризует доверительную репрезентативность результатов.

Таблица 1

**Зависимость интенсивности движения от плотности населения для частных случаев**

Критерий выбора		Зависимость	Коэффициент корреляции
<b>Зависимость интенсивности от плотности населения</b>			
–		$N = -0,00012\rho_{\text{НС}}^2 + 0,7163\rho_{\text{НС}}$	0,88
<b>Зависимость интенсивности от плотности населения с наличием школьных общеобразовательных учреждений</b>			
Вместимость	20–100 чел. (O <sub>1</sub> )	$N^{O_1} = -0,0003\rho_{\text{НС}}^2 + 1,0475\rho_{\text{НС}}$	0,89
	100–200 чел. (O <sub>2</sub> )	$N^{O_2} = -0,0003\rho_{\text{НС}}^2 + 1,1221\rho_{\text{НС}}$	0,94
	200–300 чел. (O <sub>3</sub> )	$N^{O_3} = -0,0003\rho_{\text{НС}}^2 + 1,6407\rho_{\text{НС}}$	0,89
	300–400 чел. (O <sub>4</sub> )	$N^{O_4} = -0,0007\rho_{\text{НС}}^2 + 1,8918\rho_{\text{НС}}$	0,85
	400–500 чел. (O <sub>5</sub> )	$N^{O_5} = -0,0007\rho_{\text{НС}}^2 + 2,0774\rho_{\text{НС}}$	0,85
<b>Зависимость интенсивности от плотности населения с наличием дошкольных учреждений</b>			
Вместимость	200–1 000 чел. (O <sub>6</sub> )	$N^{O_6} = -0,0002\rho_{\text{НС}}^2 + 0,9263\rho_{\text{НС}}$	0,88
	1 000–2 000 чел. (O <sub>7</sub> )	$N^{O_7} = -0,0002\rho_{\text{НС}}^2 + 1,1091\rho_{\text{НС}}$	0,98
	2 000–3 000 чел. (O <sub>8</sub> )	$N^{O_8} = -0,0002\rho_{\text{НС}}^2 + 1,1534\rho_{\text{НС}}$	0,92
	3 000–4 000 чел. (O <sub>9</sub> )	$N^{O_9} = -0,0002\rho_{\text{НС}}^2 + 1,3128\rho_{\text{НС}}$	0,94
<b>Зависимость интенсивности от плотности населения с наличием предприятий сферы услуг</b>			
Площадь	200–400 м <sup>2</sup> (K <sub>1</sub> )	$N^{K_1} = -0,0004\rho_{\text{НС}}^2 + 1,3652\rho_{\text{НС}}$	0,98
	400–600 м <sup>2</sup> (K <sub>2</sub> )	$N^{K_2} = -0,0007\rho_{\text{НС}}^2 + 2,0329\rho_{\text{НС}}$	0,96
<b>Зависимость интенсивности от плотности населения с наличием торговых зон</b>			
Площадь	250–1000 м <sup>2</sup> (K <sub>3</sub> )	$N^{K_3} = -0,0010\rho_{\text{НС}}^2 + 3,0126\rho_{\text{НС}}$	0,91
	1000–2000 м <sup>2</sup> (K <sub>4</sub> )	$N^{K_4} = -0,0002\rho_{\text{НС}}^2 + 0,9398\rho_{\text{НС}}$	0,87
	2 000–3 000 м <sup>2</sup> (K <sub>5</sub> )	$N^{K_5} = -0,0002\rho_{\text{НС}}^2 + 1,1189\rho_{\text{НС}}$	0,95

Представленные формулы можно использовать для решения частных задач проектной градостроительной деятельности. Для систематизации значимых факторов было принято решение разработать многофакторную зависимость [10], в которую включены коэффициенты для определения интенсивности движения с учетом количества зданий и их назначения. Формализованная модель определения интенсивности на улицах с нерегулярным движением для дальнейшей разработки многофакторного уравнения представлена в формуле:

$$N_{\text{сут}} = f(\rho_{\text{нс}}(O^{1.9}, K^{1.5})),$$

где  $N_{\text{сут}}$  – суточная интенсивность движения транспортного потока (авт./сут);

$\rho_{\text{нс}}$  – плотность городского населения (чел./м<sup>2</sup>);

$O$  – коэффициент, учитывающий наличие и вместимость обучающих школьных и дошкольных учреждений;

$K$  – коэффициент, учитывающий наличие и площадь торговых зон.

В настоящее время проводится математическое планирование эксперимента по установлению количества коэффициентов, учитывающих наличие школьных и дошкольных учреждений и предприятий сферы услуг и общего вида функции.

### Выводы

Таким образом, на данном этапе исследования получены частные зависимости интенсивности движения от плотности населения в доверительном интервале точности, которые уже сейчас можно применить в частных случаях для проектирования объектов городской транспортной инфраструктуры. Далее планируется расширение базы данных за счет распространения исследования на крупные и крупнейшие города Российской Федерации, ближнего и дальнего зарубежья, разработка программного обеспечения по определению интенсивности движения на улицах с нерегулярным транспортным спросом и его внедрение в деятельность субъектов дорожного хозяйства.

### Библиографический список

1. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов. – Москва : Транспорт, 1977. – 303 с. – Текст : непосредственный.
2. Дрю, Д. Р. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Р. Дрю ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко, Г. Д. Шермана. – Москва : Транспорт, 1972. – 424 с. – Текст : непосредственный.
3. Тимоховец, В. Д. Совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание степени кандидата технических наук / В. Д. Тимоховец; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень, 2020. – 133 с. – Текст : непосредственный.
4. Хейт, Ф. Э. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Э. Хейт ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко. – Москва : Мир, 1966. – 286 с. – Текст : непосредственный.
5. Тестешев, А. А. Исследование транспортных потоков на улицах с нерегулярным движением методом дистанционного спутникового мониторинга / А. А. Тестешев, Т. Г. Микеладзе. – DOI 10.15593/24111678/2019.04.06. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 51–57.
6. Григорова, Т. М. Методы и практика прогнозирования расчетных характеристик автомобильных дорог / Т. М. Григорова, О. Ф. Дащенко. – Текст : непосредственный // Труды Одесского политехнического университета. – 2007. – № 1. – С. 51–56.
7. Хомяк, Я. В. Организация дорожного движения : учебник для вузов по специальности «Организация дорожного движения» и «Эксплуатация автомобильного транспорта». – Киев : Вища шк., 1986. – 270 с. – Текст : непосредственный.

- 
8. Тестешев, А. А. Идентификация объектов городской инфраструктуры при дистанционном спутниковом зондировании транспортных потоков на улицах с нерегулярным движением / А. А. Тестешев, Т. Г. Бабич. – DOI 10.31660/2782-232X-2021-4-60-66. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 4 (98). – С. 60–66.
  9. Величина и сила коэффициента корреляции. – Текст : электронный // Математическая статистика для психологов : сайт. – URL: <https://statpsy.ru/correlation/velicina/> (дата обращения: 29.01.2021).
  10. Маркуц, В. М. Транспортные потоки автомобильных дорог и городских улиц : практические приложения / В. М. Маркуц. – Текст : электронный // GenDocs.ru : сайт. – URL: [https://gendocs.ru/v36995/маркуц\\_в.м.\\_транспортные\\_потоки\\_автомобильных\\_дорог\\_и\\_городских\\_улиц](https://gendocs.ru/v36995/маркуц_в.м._транспортные_потоки_автомобильных_дорог_и_городских_улиц) (дата обращения: 22.03.2022).

### References

1. Sil'yanov, V. V. Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya. Moscow, Transport Publ., 303 p. (In Russian).
2. Drew, D. R. (1968). Traffic flow theory and control. New York, Publ. McGraw-Hill, 467 p. (In English).
3. Timokhovets, V. D. (2020). Sovershenstvovanie metodov distantsionnogo monitoringa transportnykh potokov dlya proektirovaniya ulichno-dorozhnoy seti krupnykh gorodov. Diss. ... kand. tekhn. nauk. Tyumen, 133 p. (In Russian).
4. Haight, F. A. (1963). Mathematical theories of traffic flow. New York, Publ. Academic Press, 254 p. (In English).
5. Testeshev, A. A., & Mikeladze, T. G. (2019). Investigation of traffic flows on the streets with irregular traffic by remote satellite monitoring. Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya, (4), pp. 51-57. DOI 10.15593/24111678/2019.04.06. (In Russian).
6. Grigorova, T. M., & Dashchenko, A. F. (2007). Methods and practice of predicting the estimated performance of automobile roads. Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta, (1), pp. 51-57. (In Russian).
7. Khomyak, Ya. V. (1986). Organizatsiya dorozhnoy dvizheniya. Kiev, Vishcha shkola Publ., 270 p. (In Russian).
8. Testeshev, A. A., & Babich, T. G. (2021). Identification of urban infrastructure objects using the remote satellite sensing of traffic flows on streets with irregular traffic. Architecture, Construction, Transport, (4(98)), pp. 60-66. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2021-4-60-66.
9. Velichina i sila koeffitsienta korrelyatsii. (In Russian). Available at: <https://statpsy.ru/correlation/velicina/> (accessed 29.01.2021).
10. Markuts, V. M. (2008) Transportnye potoki avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits: prakticheskie prilozheniya. (In Russian). Available at: [https://gendocs.ru/v36995/маркуц\\_в.м.\\_транспортные\\_потоки\\_автомобильных\\_дорог\\_и\\_городских\\_улиц](https://gendocs.ru/v36995/маркуц_в.м._транспортные_потоки_автомобильных_дорог_и_городских_улиц) (accessed 22.03.2022).

### Сведения об авторах

Тестешев Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [testeshevaa@tyuiu.ru](mailto:testeshevaa@tyuiu.ru)

Бабич Татьяна Григорьевна, ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [babichtg@tyuiu.ru](mailto:babichtg@tyuiu.ru)

### Information about the authors

Alexander A. Testeshev, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Highways and Airfields, Industrial University of Tyumen, e-mail: [testeshevaa@tyuiu.ru](mailto:testeshevaa@tyuiu.ru)

Tatyana G. Babich, Assistant at the Department of Highways and Airfields, Industrial University of Tyumen, e-mail: [babichtg@tyuiu.ru](mailto:babichtg@tyuiu.ru)