

Научная статья
УДК 656.1
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-446-457>
EDN: UHUIAU



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И НАТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРКОВОЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ

М.Г. Бояршинов, Ю.А. Щукин ✉, Е.Д. Сидоров

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия

✉ ответственный автор
cshukin-yura@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность исследования обусловлена необходимостью количественного обоснования планирования парковочного пространства как элемента единой транспортной системы. В работе изучены особенности функционирования парковочной территории: заполняемость, интенсивность заездов и выездов, продолжительность пребывания, интервалы между заездами. На основе натурных наблюдений установлены статистические закономерности и выполнена верификация имитационной модели. Проведено исследование особенностей функционирования парковочной территории, включая анализ заполняемости мест, интенсивности заездов и выездов, продолжительности пребывания и интервалов между заездами автомобилей, а также других ключевых показателей. Наблюдения осуществлялись в течение одной осенней недели 2024 г.

Материалы и методы. Натурное исследование проводилось с использованием стационарных систем фото- и видеофиксации «Азимут ДТ». Обработка полученных данных выполнена с помощью методов математической статистики, включая оценку законов распределения, корреляционный анализ и применение критерия Колмогорова. Для прогнозирования работы парковочной системы разработана имитационная модель, реализованная в среде AnyLogic.

Результаты. Количественные данные были собраны с помощью стационарных систем фото- и видеонаблюдения, обеспечивающих постоянный контроль за расположением автомобилей на парковке в течение всего периода исследования. Основные показатели функционирования парковочной территории показывают зависимость от дня недели, что необходимо учитывать при планировании, расположении и эксплуатации городской парковочной инфраструктуры.

Проведённый корреляционный анализ подтвердил наличие функциональной связи между интенсивностью заездов и выездов автомобилей на парковочной территории и транспортным потоком на прилегающей дороге. Полученные результаты использованы при разработке имитационной модели парковочной территории. Выполнено сравнение данных вычислительного моделирования с результатами натурных измерений. Результаты, полученные при проведении исследования, полезны для организации движения транспорта по городской улично-дорожной сети, при зонировании и планировании городской территории, могут служить основой для разработки и оценки градостроительных и архитектурно-планировочных решений.

Получены осреднённые значения интенсивности заездов и интервалов между ними (6,7–14,5 мин). Гипотеза об экспоненциальном распределении интервалов отвергнута. Гипотеза о пуассоновском потоке для малых интервалов (2 мин) согласуется с данными. Выявлена и аппроксимирована линейная корреляционная связь интенсивностей въезда/выезда с интенсивностью транспортного потока на прилегающей дороге ($R = 0,81–0,86$). Сравнение натурных и модельных кривых по чебышёвской норме показало расхождение 0,0058–0,0891.

Обсуждение и заключение. Подтверждена функциональная зависимость параметров парковочной территории от внешнего трафика. Разработанная имитационная модель адекватно воспроизводит функционирование парковочной территории. Результаты могут быть рекомендованы для градостроительного планирования и организации парковочных территорий, сопоставимых с рассматриваемой, однако разработанная методика может быть распространена на другие объекты парковочной инфраструктуры с целью рационального использования городских ресурсов и улучшения транспортной системы.

© Бояршинов М.Г., Щукин Ю.А., Сидоров Е.Д., 2026



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: парковки, имитационное моделирование, транспортный поток, натурные наблюдения, заполняемость парковочной территории, интенсивность въезда-выезда, продолжительность размещения транспортных средств, корреляционный анализ, AnyLogic, статистическая обработка, улично-дорожная сеть, оборачиваемость парковочных мест

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность муниципальному казенному учреждению «Пермская дирекция дорожного движения» за содействие в предоставлении данных об использовании объекта парковочной инфраструктуры.

Статья поступила в редакцию 12.03.2026; одобрена после рецензирования 10.04.2026; принята к публикации 15.06.2026.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Бояршинов М.Г., Щукин Ю.А., Сидоров Е.Д. Вычислительный эксперимент и натурное исследование характеристик парковочной территории // Вестник СибАДИ. 2026. Т. 23, № 3. С. 446-457. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-446-457>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-446-457>

EDN: UHUIAU

COMPUTATIONAL EXPERIMENT AND FIELD STUDY OF PARKING AREA CHARACTERISTICS

Mikhail G. Boyarshinov, Yuriy A. Shchukin ✉, Evgeniy D. Sidorov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia

✉ corresponding author
cshukin-yura@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this study comes from the need to substantiate quantitatively parking space planning as an element of a unified transportation system. The operational characteristics of the parking area, including occupancy, entry and exit rates, dwell times, and intervals between entries have been examined. Based on field observations, statistical patterns have been established and a simulation model has been verified. The survey of the parking area operational characteristics has been conducted, including an analysis of space occupancy, entry and exit rates, dwell times, and intervals between entries, as well as other key indicators. Observations were being made over the week in autumn, 2024.

Materials and Methods. The stationary Azimut DT photo and video recording systems have been used to conduct the field study. The obtained data was processed with the help of mathematical statistics methods, including distribution law assessment, correlation analysis, and the Kolmogorov test. To predict parking system performance the simulation model has been developed and implemented in the AnyLogic environment.

Results. Quantitative data has been collected by stationary photo and video surveillance systems, providing continuous monitoring of vehicle distributions in the parking lot throughout the whole research period. Key parking area performance indicators have showed a day-of-week dependence, which must be considered in planning, locating, and operating urban parking infrastructure.

The correlation analysis confirmed a functional relationship between the intensity of vehicle entry and exit within the parking area and traffic flow on the adjacent road. The obtained results have been used to develop a simulation model of the parking lot. Computational modeling data was compared with field measurements. The data obtained through the study are useful for organizing traffic flow on the urban street and road network, for zoning and designing the urban area, and can serve as a basis for developing and evaluating urban planning and architectural solutions.

Average values of entry and exit rates and intervals between them have been obtained (6.7–14.5 min). The hypothesis of an exponential distribution of intervals has been rejected. The hypothesis of a Poisson flow for short

© Boyarshinov Mikhail G., Shchukin Yuriy A., Sidorov Evgeniy D., 2026



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

intervals (2 min) is consistent with the data. A linear correlation between entry/exit rates and traffic flow rates on the adjacent road has been identified and approximated ($R = 0.81-0.86$). A comparison of the actual and simulated curves according to the Chebyshev norm revealed a discrepancy of $0.0058 - 0.0891$.

Discussion and Conclusions. The functional dependence of parking area parameters on external traffic has been confirmed. The developed simulation model reproduces the functioning of the parking area adequately. The results can be recommended for urban planning and organization of parking areas like under consideration. However, the developed methodology can be extended to other parking infrastructure facilities to ensure the rational use of urban resources and to improve the transportation system.

KEYWORDS: parking areas, simulation modeling, traffic flow, field observations, parking area occupancy, entry and exit intensity rate, vehicle dwell times, correlation analysis, AnyLogic, statistical processing, street and road network, parking space turnover

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors express their gratitude to the municipal state institution "Perm Directorate of Road Traffic" for assistance in providing data on the use of the parking infrastructure facility.

The article was submitted: March 12, 2026; approved after reviewing: April 10, 2026; accepted for publication: June 15, 2026.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Boyarshinov M.G., Shchukin Yu. A., Sidorov E.D. Computational experiment and field study of parking area characteristics. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2026; 23 (3): 446-457. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-446-457>

ВВЕДЕНИЕ

В отечественных и зарубежных исследованиях основное внимание уделяется планированию, размещению, организации и функционированию городского парковочного пространства [1, 2]. Прикладные исследования парковочного пространства позволяют выявлять закономерности и особенности взаимодействия парковочной инфраструктуры с транспортными потоками [3, 4, 5], рассматривать такие объекты как элементы единой транспортной системы [6].

В статье [7] предлагается подход к прогнозированию занятости парковочных пространств, основанный на вейвлет-преобразовании. Ключевая идея исследования состоит в том, чтобы рассматривать несколько парковок не как изолированные объекты, а как взаимосвязанную систему. Датчики стационарных систем фото- и видеофиксации применяются для оценки загруженности парковочных территорий [8, 9, 10], а также для измерения скорости и продолжительности размещения, времени размещения автомобилей [11], сбора статистических данных о работе парковочных территорий [12, 13]. Такой подход помогает выявлять характерные особенности функци-

онирования [14, 15] парковочных территорий.

В статье [16] определены входные и выходные данные, а также сформулированы функциональные требования к моделям парковочного пространства. В работе [17] предложена модель оценки доступности парковочных мест, основанная на анализе корреляционных связей между различными парковками.

Инструментарий для сбора данных о парковочной нагрузке в жилых зонах предлагается в статье [18]. Авторы исследований [19] предлагают концепцию интеллектуальной системы управления парковками в условиях использования автоматизированных транспортных средств.

Современные программные средства имитационного моделирования (AnyLogic¹, PTV Visum² и пр.) широко используются в логистике и транспортном моделировании, включая управление парковочными системами, позволяют автоматизировать процесс моделирования за счёт использования графического интерфейса, дискретно-событийной, агентной и системно-динамической парадигм, встроенного языка программирования.

Актуальность исследования обусловлена отсутствием в настоящее время достовер-

¹ AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 16.02.2026).

² PTV VISUM. Транспортное планирование: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ptv-vision.ru/> (дата обращения: 16.02.2026).

ного и научно-обоснованного подхода, базирующегося на достоверных результатах теоретических и эмпирических исследований, к количественному обоснованию планирования парковочного пространства как элемента единой транспортной системы. Существует насущная необходимость в надёжном инструменте прогнозирования показателей функционирования планируемых и реконструируемых парковочных территорий, позволяющего принимать обоснованные решения по оптимальному их размещению, управлению и обслуживанию.

Для непрерывного наблюдения за автомобилями использовались стационарные комплексы фото- и видеofиксации «Азимут ДТ», позволяющие фиксировать время заезда каждого автомобиля на парковочную территорию и выезда с нее. К территории парковки прилегает дорога с основным потоком транспорта.

Цель исследования – на основе натурных наблюдений установить статистические закономерности функционирования парковочной территории в центральной части города обосновать зависимость въезда/выезда транспортных средств на парковочную территорию в зависимости от внешнего трафика, провести верификацию полученных результатов с имитационной моделью.

Несмотря на значительное число работ, посвящённых планированию и организации парковочного пространства, большинство из них либо базируются на усреднённых нормативах без привязки к реальной динамике спроса, либо рассматривают парковочные территории изолированно, без учёта их взаимодействия с

транспортным потоком на прилегающей дороге. Отсутствуют количественно обоснованные модели, которые позволяли бы по данным систем фото- и видеofиксации прогнозировать заполняемость парковочной территории.

Задачи:

1. Провести непрерывный мониторинг заполняемости парковочной территории, интервалов заезда/выезда транспортных средств, а также интенсивности.
2. Оценить соответствие потоков заезда пуассоновской и экспоненциальной моделям.
3. Выполнить корреляционный и регрессионный анализ связи «парковочная территория – дорога».
4. Провести сравнение имитационной модели с результатами обработки натурных наблюдений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – открытая неохраваемая парковочная территория вместимостью 35 автомобилей, расположенная в непосредственной близости от научно-исследовательского центра площадью 12 тыс. м², жилого комплекса на 250 квартир с частной территорией и торгового центра на 6,7, тыс. м² (рисунок 1). Парковочная территория имеет один совмещённый въезд-выезд, что упрощает фиксацию событий. Прилегающая улично-дорожная сеть представлена двухполосной дорогой районного значения (по одной полосе в каждом направлении) с ограничением скорости 60 км/ч. Вблизи расположен остановочный пункт трамвайного городского транспорта.

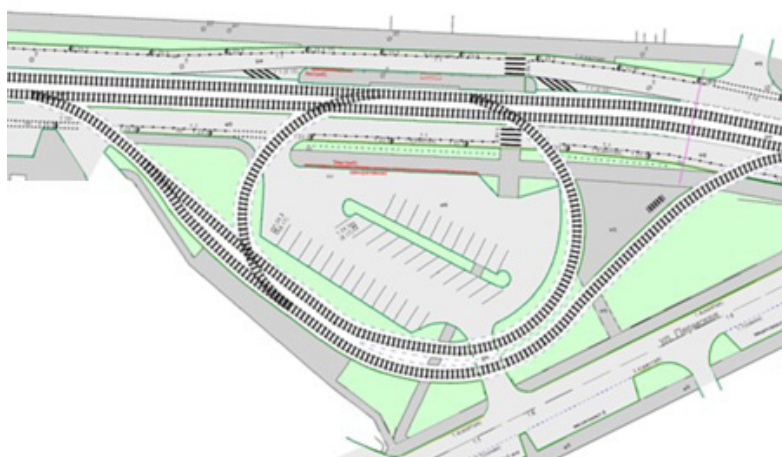


Рисунок 1 – Схема парковочной территории
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Layout of the parking area.
Source: compiled by the authors.

Период наблюдений: 7 сут октября 2024 г., круглосуточно. В постобработке в полуавтоматическом режиме фиксировались момент въезда и выезда каждого автомобиля, по которым рассчитывались:

- заполняемость K , авт.;
- интенсивность въезда N^{in} и выезда N^{out} , авт/ч;
- интервалы между последовательными въездами t_{cp} , мин.

Параллельно на прилегающей дороге (двухполосное движение, ограничение скорости 60 км/ч) тем же комплексом измерялась интенсивность транспортного потока N , авт/ч.

Статистическая обработка выполнена в среде Mathcad. Проверка гипотез о распределении проводилась с использованием критерия Колмогорова. Корреляционный анализ реализован методом Пирсона. Имитационная модель построена в AnyLogic (дискретно-событийная парадигма). Входными данными

служили: зависимость $N(t)$, функции $N^{in}(t)$ и $N^{out}(t)$, а также эмпирическое распределение времени парковки. Модельное время – 7 сут, число прогонов – 30.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Заполняемость и суточная динамика.

На рисунке 2 представлен график заполняемости в рабочий день. Пиковые значения (32–34 авт.) приходятся на 11:00–13:00 и 18:00–19:00. В нерабочие дни заполняемость ниже в 1,5–2 раза и смещена на вторую половину дня.

2. Интенсивности въезда/выезда.

На рисунке 3 показаны зависимости $N^{in}(N)$ и $N^{out}(N)$. Утренний пик въезда (до 20 авт/ч) наблюдается с 8:30 до 10:00, вечерний пик выезда (до 18 авт/ч) – с 17:00 до 19:00. Среднесуточные значения по дням недели сведены в таблицу 1.

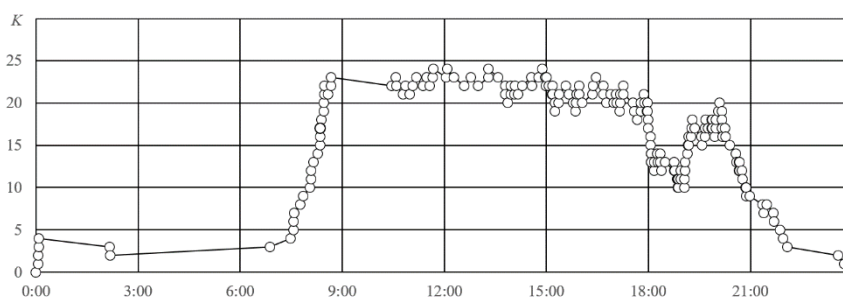


Рисунок 2 – Зависимость заполняемости парковочной территории K (авто) от времени t (час: минута)
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Dependence of the parking area occupancy K (vehicles) on time t (hour: minute)
Source: compiled by the authors.

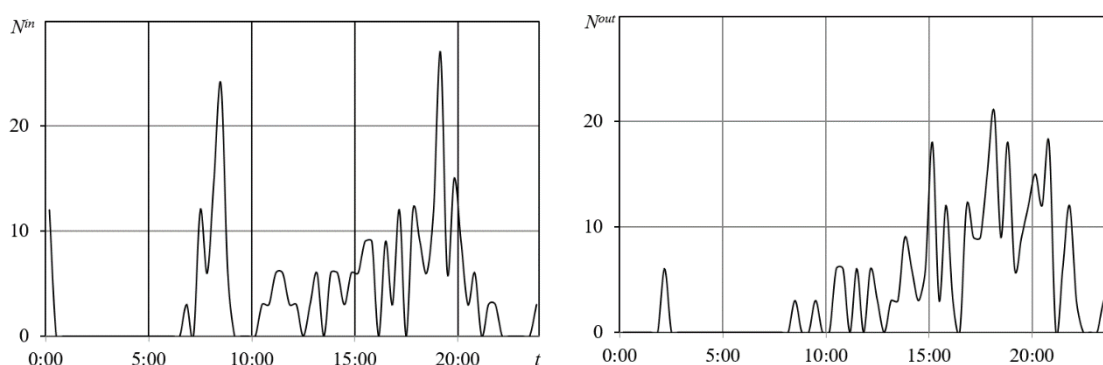


Рисунок 3 – Зависимость интенсивностей заездов N^{in} (авт/ч) на парковочную территорию (слева) и выездов N^{out} (авт/ч) с нее (справа) от времени t
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Dependence of the entry intensities N^{in} (vehicles/hour) into the parking area (on the left) and exit N^{out} (vehicles/hour) from it (on the right) on time t
Source: compiled by the authors.

Таблица 1

Среднесуточные интенсивности заездов на парковку, интервалы τ_{cp} времени между ними, значения критерия Колмогорова при оценке статистических гипотез
Источник: составлено авторами.

Table 1

Daily average parking entry intensities λ , time intervals between them τ_{cp} , and Kolmogorov test values for statistical hypothesis evaluation.
Source: compiled by the authors.

День	λ , мин ⁻¹	τ_{cp} , мин	Значения статистики Колмогорова	
			Экспоненциальное распределение	Пуассоновское распределение
Понедельник	0,0689	14,507	1,5847	0,1834
Вторник	0,0788	12,686	1,4850	0,1527
Среда	0,1488	6,7213	1,8899	0,5182
Четверг	0,1279	7,8157	1,5960	0,2800
Пятница	0,1314	7,6126	1,4418	0,3530
Суббота	0,0354	17,561	1,0143	0,0164
Воскресенье	0,0341	29,311	2,1473	0,0297

3. Статистика интервалов и проверка гипотез.

Эмпирические распределения интервалов τ (рисунок 4) имеют выраженную правостороннюю асимметрию. Гипотеза об экспоненциальном распределении отклонена для всех дней недели (критерий Колмогорова $D > 1,4$

при критическом значении 1,36). Гипотеза о пуассоновском потоке проверялась для числа заездов за двухминутные интервалы (рисунок 5); для рабочих дней расхождение незначимо ($D < 0,5$), что позволяет использовать пуассоновскую модель на малых интервалах.

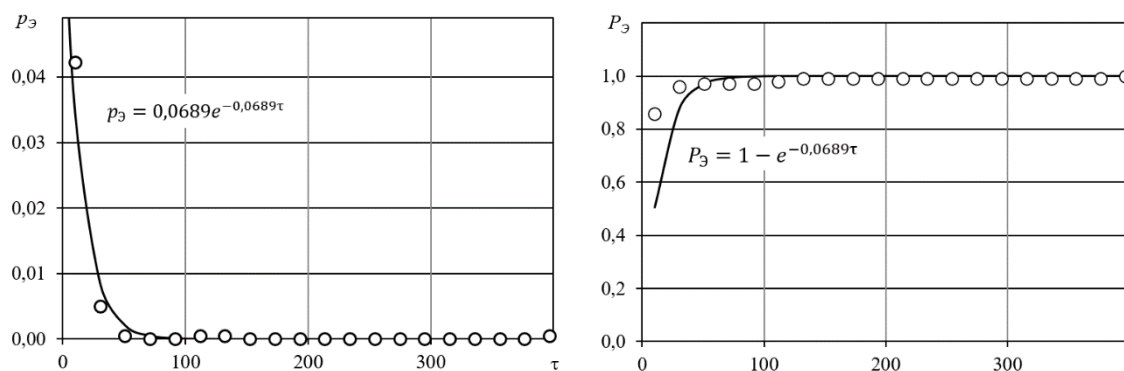


Рисунок 4 – Эмпирические (o) и экспоненциальные (—) распределения плотностей p_3 вероятностей (слева) и вероятностей P_3 (б) интервалов времени τ между заездами автомобилей на парковку (справа)
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Empirical (o) and exponential (—) distributions of the densities p_3 of probabilities (on the left) and probabilities P_3 (b) of time intervals between car entries into the parking lot (on the right)
Source: compiled by the authors.

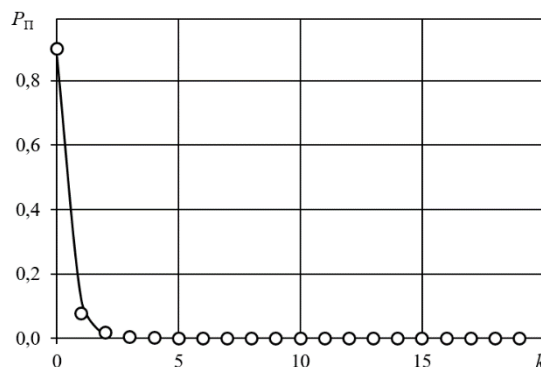


Рисунок 5 – Эмпирическое (o) и пуассоновское (—) распределения вероятностей P_k заезда k автомобилей на парковочную территорию в течение 2 мин; рабочий день октября 2024 г.
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Empirical (o) and Poisson (—) probability distributions P_k of k cars entering the parking area within 2 minutes; Weekday, October 2024
Source: compiled by the authors.

4. Корреляция с потоком транспортных средств на дороге.

На рисунках 6 и 7 показано, что динамика $N^{in}(t)$ визуально повторяет изменение интенсивности на дороге $N(t)$. Коэффициент корреляции

Пирсона для рабочих дней составляет 0,81–0,86, для выходных – 0,54–0,62. Линейная аппроксимация:

- $N^{in} = 0,21 \cdot N + 1,07$ ($R^2 = 0,73$);
- $N^{out} = 0,19 \cdot N + 0,95$ ($R^2 = 0,70$).

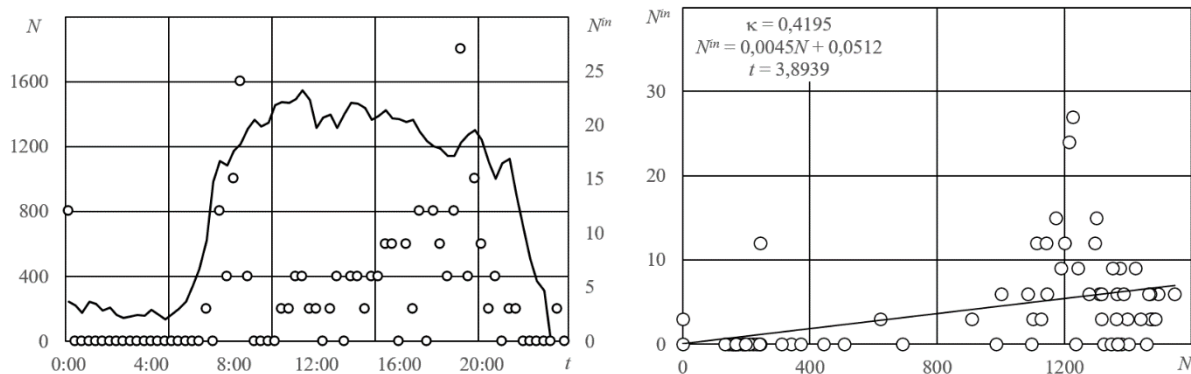


Рисунок 6 – Зависимости от времени t интенсивностей N (—, авт/ч) транспортного потока на дороге и N^{in} заезда автомобилей на придорожную парковочную территорию (маркеры «o», авт/ч, слева); зависимости $N^{in}(N)$, линейные аппроксимации (—), коэффициенты корреляции и Стьюдента (справа)
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Dependences of the intensities of the traffic flow on the road N (—, vehicles/hour) and of vehicles entering the roadside parking area N^{in} on time t (markers «o», vehicles/hour, on the left); dependences $N^{in}(N)$, linear approximations (—), correlation coefficients and Student's t-test (on the right)
Source: compiled by the authors.

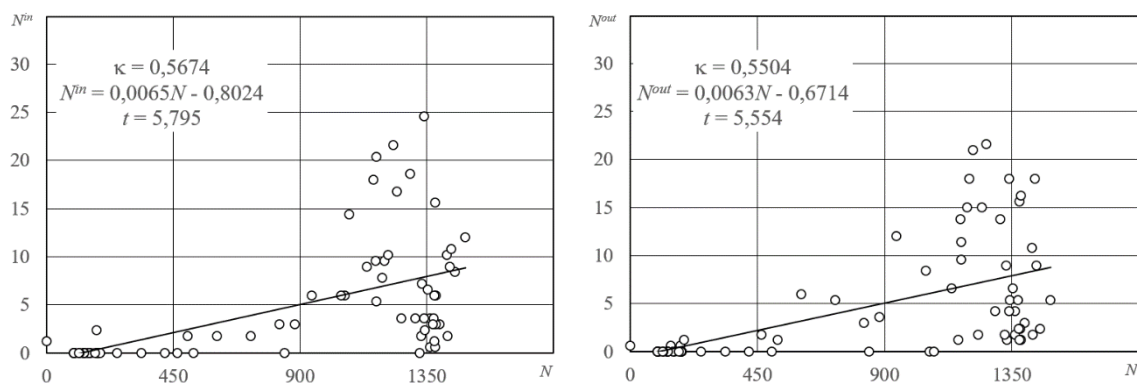


Рисунок 7 – Зависимости $N^{in}(N)$ и $N^{out}(N)$ между осредненными за рабочие дни интенсивностями транспортных потоков N на прилегающей дороге и интенсивностями въезда N^{in} (слева) автомобилей на парковочную территорию и выезда N^{out} с нее (маркеры «о», авт/ч, справа); линейные аппроксимации (—), коэффициенты корреляции и Стьюдента
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Dependencies $N^{in}(N)$ and $N^{out}(N)$ between the averaged over working days traffic flows intensities N on the adjacent road and the intensities of vehicles entering the parking area N^{in} (on the left) and leaving it N^{out} (markers "o", vehicles/hour, on the right); linear approximations (—), correlation coefficients and Student's t-test
Source: compiled by the authors.

5. Имитационное моделирование и верификация.

Модель генерирует потоки въезда (рисунок 8), распределения интервалов (рисунок 9) и

числа заездов (рисунок 10), близкие к натурным. Количественное сравнение детерминированных и вероятностных показателей представлено в таблице 2.

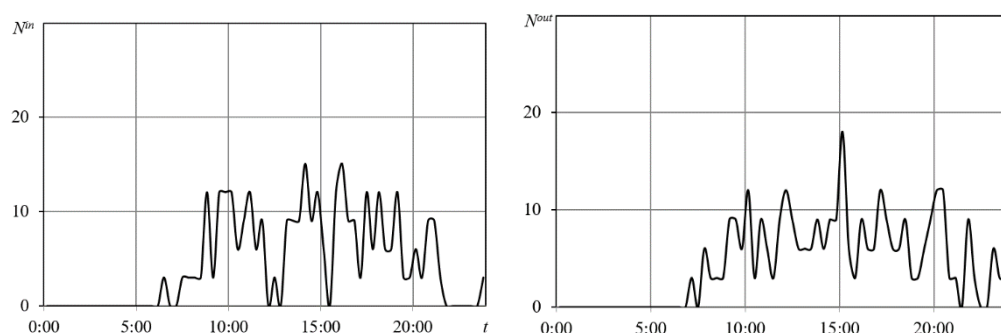


Рисунок 8 – Зависимости от времени t интенсивностей N^{in} (слева) въезда автомобилей на парковочную территорию и N^{out} (справа) выезда с неё, полученные при вычислительном моделировании; рабочий день октября 2024 г.
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Dependencies of entry N^{in} (on the left) and exit N^{out} (on the right) intensities of vehicles from the parking area on time t obtained from simulation modeling; weekday, October 2024
Source: compiled by the authors.

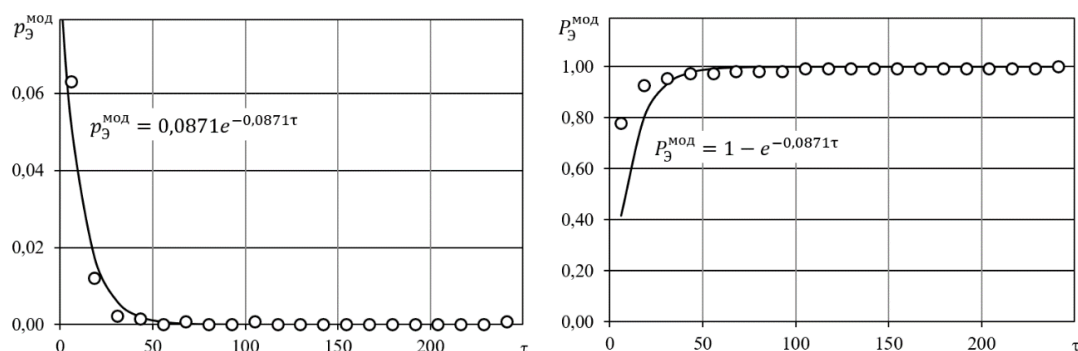


Рисунок 9 – Графики эмпирических (о) и теоретических (—, экспоненциальное) плотностей вероятностей $p_3^{\text{мод}}$ (слева) и функций распределения $P_3^{\text{мод}}$ (справа) интервалов времени τ между заездами автомобилей на парковочную территорию, полученные в результате моделирования в рабочий день
Источник: составлено авторами.

Figure 9 – Graphs of empirical (o) and theoretical (—, exponential) probability densities p_3^{mod} (on the left) and distribution functions P_3^{mod} (on the right) of time intervals between vehicle entries into the parking area, obtained as a result of modeling on a weekday
Source: compiled by the authors.

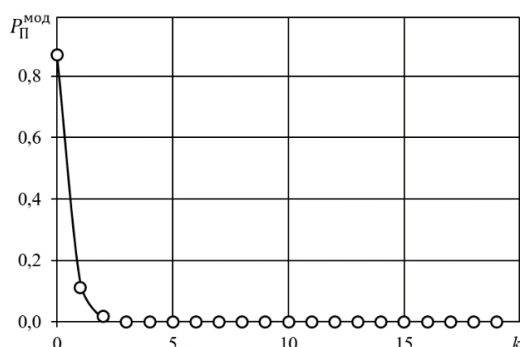


Рисунок 10 – Распределения расчетной (о), полученной при вычислительном моделировании, и теоретической $P_k^{\text{мод}}$ (—, пуассоновской) вероятностей въезда k автомобилей на парковку в течение 2 мин
Источник: составлено авторами.

Figure 10 – Distributions of the calculated (o), obtained through computational modeling, and theoretical P_k^{mod} (—, Poisson) probabilities of k vehicles entering the parking lot within 2 minutes
Source: compiled by the authors.

Таблица 2

Сравнение детерминированных характеристик, определённых по результатам натурного наблюдения и вычислительного эксперимента: среднесуточные интенсивности λ заезда, средние значения $\langle N^{\text{in}} \rangle$, $\langle N^{\text{out}} \rangle$; чебышёвские нормы разностей вероятностных кривых
Источник: составлено авторами.

Table 2

Comparison of determined characteristics defined by the results of field observation and a computational experiment: average daily intensities of entries, average values $\langle N^{\text{in}} \rangle$, $\langle N^{\text{out}} \rangle$; Chebyshev norms of differences in probability curves
Source: compiled by the authors.

Показатель	Рабочий день		Нерабочий день	
	Наблюдение	Моделирование	Наблюдение	Моделирование
$\langle N^{\text{in}} \rangle$, мин ⁻¹	4,0274	4,3973	2,0548	1,1918
$\langle N^{\text{out}} \rangle$, мин ⁻¹	4,0685	4,3973	2,0548	1,1918
λ , мин ⁻¹	0,0689	0,0871	0,0354	0,0296
$\ p_3 - p_3^{\text{мод}}\ $	0,0182		0,0058	
$\ P_3 - P_3^{\text{мод}}\ $	0,0798		0,0657	
$\ P_{\Pi} - P_{\Pi}^{\text{мод}}\ $	0,0891		0,0276	

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ движения автомобилей на парковочной территории в центре города позволил оценить степень её загруженности, а также определить показатели частоты заездов и выездов. Результаты показали, что при кратких интервалах времени между заездами возможно моделировать их как пуассоновский процесс. Однако гипотеза о соответствии интервалов времени между заездами экспоненциальному распределению не прошла проверку по критерию Колмогорова.

Использование корреляционного анализа подтвердило наличие функциональной зависимости между интенсивностью автомобильного потока на прилегающей улично-дорожной сети и значениями заездов и выездов на парковочную территорию. На базе этих выводов была сформирована имитационная модель работы парковочной системы, учитывающая взаимосвязь между потоками транспорта на дороге и поведением пользователей транспортных средств на парковке.

Обнаружено, что показатели эффективности функционирования парковочной территории подвержены колебаниям, которые связаны как со временем суток, так и с конкретными днями недели. Эти особенности необходимо учитывать при проектировании, организации и развитии городской парковочной инфраструктуры. Полученные данные рекомендуется использовать при создании имитационных и статистических моделей парковочных территорий, сопоставимых с рассматриваемой, однако методика может быть масштабирована для анализа любых объектов парковочной инфраструктуры в целях более рационального использования городских ресурсов и улучшения транспортной системы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov I., Novikov A. The paid parking space organization as one of the ways to increase the capacity of the road in Belgorod urban agglomeration // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 63. P. 868-877. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.084>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146522003398> (дата обращения: 10.02.2026).
2. Гушина М.В. Управление современными механизмами организации парковочного пространства в мировой практике // *Научный журнал молодых ученых*. 2018. № 2 (11). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-sovremennymi-mehanizmami-organizatsii-parkovochного-prostranstva-v-mirovoy-praktike> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Parmar J., Das P., Dave S. M. Study on demand and characteristics of parking system in urban areas: A review // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2020. Vol. 7, Issue 1. P. 111-124. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.09.003>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756418305786> (дата обращения: 10.02.2026).
4. Соловьев К.В., Кузьмина Д.В. Сравнительный анализ способов организации парковочного пространства в мегаполисах // *Молодой ученый*. 2016. № 29 (133). С. 155–158. URL: <https://moluch.ru/archive/133/37148>. (дата обращения: 12.03.2026).
5. Shehadeh E.A. Trip Rates and Parking Requirements for Restaurants and Coffee Shops in Amman-Jordan // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Vol. 9, N 2. P. 2898–2901. <https://doi.org/10.35940/ijtee.B7484.129219>
6. Еремин И.Р., Никитин П.В. Анализ данных сервиса платной парковки для создания эффективной системы ценообразования (на примере Владивостока) // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024. Т. 12, № 2(45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.015>. EDN HZVFHS.
7. Наumenko Е.Ю. Определение вариантов емкости и занятости парковок // *Инженерный вестник Дона*. 2011. № 2. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2011/413> (дата обращения: 04.05.2025).
8. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Шумков А.Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2021. № 3. С. 61–71. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-3-6>
9. Бояршинов М.Г., Щукин Ю.А. Особенности функционирования придорожного парковочного пространства // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2024. № 6. С. 89–108. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-6-89>
10. Farley A., Ham H., Hendra. Real Time IP Camera Parking Occupancy Detection using Deep Learning // *Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 179. P. 606-614. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.046> URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921000533> (дата обращения: 10.02.2026).
11. Shoup D. Pricing curb parking // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2021. Vol. 154. P. 399-412. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.04.012>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856421001105> (дата обращения: 10.02.2026).
12. Ding X., Yang R. Vehicle and Parking Space Detection Based on Improved YOLO Network Model // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1325. P. 012084. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1325/1/012084>. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1325/1/012084> (дата обращения: 10.02.2026).
13. Nguyen D.-L., Vo X.-T., Priadana A., Jo K.-H. YOLO5PKLot: A Parking Lot Detection Network Based on Improved YOLOv5 for Smart Parking Management System // *Communications in Computer and Information Science*. 2023. Vol. 1857. P. 95-106. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4914-4_8. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-99-4914-4_8 (дата обращения: 10.02.2026).
14. Щукин Ю.А., Бояршинов М.Г., Артеменко Д.В. Закономерности использования парковоч-

ного пространства // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2023. № 3–4 (106–107). С. 44–50. EDN: SLAKFT

15. Бояршинов М.Г., Щукин Ю.А. Анализ продолжительности размещения транспортных средств на территории парковки вблизи торгового центра // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2024. № 3-3(90). С. 260–264.

16. Антипова А.Н., Куманева А.В., Аксенов Д.В. Информационная модель формирования парковочного пространства в крупном городе // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. 2019. № 2. С. 48–55.

17. Gao L., Fan W., Hu Z., Jian W. Prediction of Vacant Parking Spaces in Multiple Parking Lots: A DWT-ConvGRU-BRC Model // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, no. 6. P. 3791. <https://doi.org/10.3390/app13063791>. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/6/3791> (дата обращения: 10.02.2026).

18. Зедгенизов А.В., Зедгенизова А.Н. Особенности сбора исходных данных при оценке числа припаркованных автомобилей возле жилых объектов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 10(57). С. 105–108.

19. Kotb A., Shen Y., Zhu X., Huang Y. IParker—A New Smart Car-Parking System Based on Dynamic Resource Allocation and Pricing // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2016. Vol. 17, no. 9. P. 2637–2647. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2531636>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7457323> (дата обращения: 10.02.2026).

20. Chauhan V., McCarthy O., Blanco J., Hörcher D., Singh M., Teter J., Yari E., Yuen J. ITF Transport Outlook 2023. Paris: OECD Publishing, 2023. 130 p. <https://doi.org/10.1787/b6cc9ad5-en>. URL: <https://doi.org/10.1787/b6cc9ad5-en> (дата обращения: 10.02.2026).

21. Li Y., Leong W.Y., Zhang H. YOLOv10-Based Real-Time Pedestrian Detection for Autonomous Vehicles. Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Image Processing and Applications (ICSIPA). 2024:1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/ICSIPA62061.2024.10686546> (дата обращения: 10.02.2026).

22. Manikandan B.V., Nathan T.R., Naresh R., Prasad P. Traffic Flow Prediction For Intelligent Transportation System Using Machine Learning // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 387. P. 05002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338705002>. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/36/e3sconf_ics2023_05002/e3sconf_ics2023_05002.html (дата обращения: 12.03.2026).

REFERENCES

1. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov I., Novikov A. The paid parking space organization as one of the ways to increase the capacity of the road in Belgorod urban agglomeration. *Transportation Research Procedia*. 2022; Vol. 63. P. 868–877. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.084> URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146522003398> (date of access: 10.02.2026).

2. Gushchina M.V. Management of modern mechanisms of organizing parking space in world practice. *Scientific journal of young scientists*. 2018;

No. 2 (11). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-sovremennymi-mehanizmami-organizatsii-parkovochного-prostranstva-v-mirovoy-praktike> (access date: 10.02.2026). (in Russ.)

3. Parmar J., Das P., Dave S. M. Study on demand and characteristics of parking system in urban areas: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering* (English Edition). 2020; Vol. 7, Issue 1. P. 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.09.003>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756418305786> (date accessed: 10.02.2026).

4. Soloviev K.V., Kuzmina D.V. Comparative analysis of methods for organizing parking space in megacities. Text: direct. *Young scientist*. 2016; No. 29 (133). P. 155–158. URL: <https://moluch.ru/archive/133/37148>. (access date: 12.03.2026). (in Russ.)

5. Shehadeh E.A. Trip Rates and Parking Requirements for Restaurants and Coffee Shops in Amman-Jordan. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Vol. 9, N 2. P. 2898–2901. <https://doi.org/10.35940/ijitee.B7484.129219>

6. Eremin I.R., Nikitin P.V. Analysis of paid parking service data to create an effective pricing system (using Vladivostok as an example). *Modeling, optimization and information technology*. 2024; Vol. 12, No. 2 (45). (in Russ.) <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.015>. EDN HZVFHS.

7. Naumenko E.Yu. Determination of parking capacity and occupancy options. *Engineering Bulletin of the Don*. 2011; No. 2. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2011/413> (date of access: 04.05.2025). (in Russ.)

8. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Shumkov A.G. Using a complex of photo and video recording of traffic violations to identify the deterministic and stochastic components of traffic flow intensity. *Intelligence. Innovations. Investments*. 2021. No. 3. pp. 61–71. (in Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-3-6>

9. Boyarshinov M.G., Shchukin Yu.A. Features of the functioning of roadside parking space. *Intelligence. Innovations. Investments*. 2024; No. 6. pp. 89–108. (in Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-6-89>

10. Farley A., Ham H., Hendra. Real Time IP Camera Parking Occupancy Detection using Deep Learning. *Procedia Computer Science*. 2021; Vol. 179. P. 606–614. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.046>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921000533> (access date: 10.02.2026).

11. Shoup D. Pricing curb parking. Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2021; Vol. 154. P. 399–412. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.04.012> URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856421001105> (access date: 10.02.2026).

12. Ding X., Yang R. Vehicle and Parking Space Detection Based on Improved YOLO Network Model. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; Vol. 1325. P. 012084. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1325/1/012084>. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1325/1/012084> (access date: 10.02.2026).

13. Nguyen D.-L., Vo X.-T., Priadana A., Jo K.-H. YOLO5PKLot: A Parking Lot Detection Network Based on Improved YOLOv5 for Smart Parking Management System. *Communications in Computer and In-*

formation Science. 2023; Vol. 1857. P. 95-106. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4914-4_8. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-99-4914-4_8 (accessed: 10.02.2026).

14. Shchukin Yu. A., Boyarshinov M. G., Artemenko D. V. Patterns of Parking Space Use. *Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, and Economics*. 2023; No. 3-4 (106-107). P. 44-50. EDN: SLAKFT. (in Russ.)

15. Boyarshinov M.G., Shchukin Yu.A. Analysis of the Duration of Vehicle Accommodation in a Parking Lot Near a Shopping Center. *Modernization and Scientific Research in the Transport Complex*. 2024; No. 3-3 (90). P. 260-264. (in Russ.)

16. Antipova A.N., Kumaneva A.V., Aksenov D.V. Information model for the formation of parking space in a large city. *Transport and Mechanical Engineering of Western Siberia*. 2019. No. 2. pp. 48–55. (in Russ.)

17. Gao L., Fan W., Hu Z., Jian W. Prediction of Vacant Parking Spaces in Multiple Parking Lots: A DWT-ConvGRU-BRC Model. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, no. 6. P. 3791. <https://doi.org/10.3390/app13063791>. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/6/3791> (accessed: 10.02.2026).

18. Zedgenizov A.V., Zedgenizova A.N. Features of collecting initial data when assessing the number of parked cars near residential properties. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2011; No. 10 (57). (in Russ.)

19. Kotb A., Shen Y., Zhu X., Huang Y. IParker—A New Smart Car-Parking System Based on Dynamic Resource Allocation and Pricing. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2016; Vol. 17, no. 9. P. 2637-2647. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2531636>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7457323> (access date: 10.02.2026).

20. Chauhan V., McCarthy O., Blanco J., Hörcher D., Singh M., Teter J., Yari E., Yuen J. ITF Transport Outlook 2023. Paris: OECD Publishing, 2023. 130 p. <https://doi.org/10.1787/b6cc9ad5-en>. URL: <https://doi.org/10.1787/b6cc9ad5-en> (access date: 10.02.2026).

21. Li Y., Leong W.Y., Zhang H. YOLOv10-Based Real-Time Pedestrian Detection for Autonomous Vehicles. *Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Image Processing and Applications (ICSIPA)*. 2024:1-6. <https://doi.org/10.1109/ICSIPA62061.2024.10686546> (access date: 10.02.2026).

22. Manikandan B.V., Nathan T.R., Naresh R., Prasad P. Traffic Flow Prediction For Intelligent Transportation System Using Machine Learning. *E3S Web of Conferences*. 2023; Vol. 387. P. 05002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338705002>. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/36/e3sconf_icst2023_05002/e3sconf_icst2023_05002.html. (access date: 12.03.2026).

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Бояршинов М.Г. Научное руководство, разработка концепции исследования, постановка задачи, обработка и интерпретация результатов, написание текста.

Шукин Ю.А. Организация и проведение натурного эксперимента, сбор первичных данных, подготовка графического материала.

Сидоров Е.Д. Разработка имитационной модели, выполнение вычислительных экспериментов, статистическая обработка.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Boyarshinov M.G. Scientific supervision, research concept development, problem statement, data processing and interpretation, text writing.

Shchukin Yu. A. Field experiment organizing and conducting, primary data collection, preparation of visual materials.

Sidorov E.D. Simulation model development, execution of computational experiments, statistical processing.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бояршинов Михаил Геннадьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4473-6776>,

Researcher ID: ACE-0166-2022,

SPIN-код: 5958-2345,

e-mail: mgboyarshinov@pstu.ru

Шукин Юрий Александрович – аспирант кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9861-7134>,

SPIN-код: 3239-3212,

e-mail: cshukin-yura@mail.ru

Сидоров Евгений Дмитриевич – магистр кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

e-mail: evgehasmit@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Boyarshinov Mikhail Gennadievich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolskiy Prospekt, Perm, 614990).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4473-6776>,

Researcher ID: ACE-0166-2022,

SPIN-code: 5958-2345,

e-mail: mgboyarshinov@pstu.ru

Shchukin Yuriy Aleksandrovich – Postgraduate Student, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolskiy Prospekt, Perm, 614990).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9861-7134>,

SPIN-code: 3239-3212,

e-mail: cshukin-yura@mail.ru

Sidorov Evgeniy Dmitrievich – Master of Science, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolskiy Prospekt, Perm, 614990).

e-mail: evgehasmit@yandex.ru