

Математическое моделирование вероятности наличия автомобиля каршеринга в шаговой доступности

М. А. Берфельд¹, М. Е. Корягин², В. Н. Катаргин¹✉

¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская Федерация

✉ vnkatarin@sfu-kras.ru

Резюме

В настоящее время передвижение на автомобиле является неотъемлемой частью жизни в российских городах. Проблемы с парковками снижают привлекательность владения автомобилем. Поэтому в мире и России активно развиваются услуги каршеринга. Основным преимуществом для клиента является отсутствие проблем с парковкой, и в отличие от такси клиент имеет возможность управлять автомобилем самостоятельно. В первую очередь эта услуга развивается в крупных городах. Однако Красноярск, один из крупнейших городов России, получил отрицательный опыт работы каршеринга. Для анализа проблем построена математическая модель эффективности поиска автомобиля. Сначала были собраны статистические данные, которые указывают на низкий спрос на каршеринг. Был выбран район с наибольшим количеством заказов. Для этого района получены формулы с целью расчета среднего расстояния между клиентом и автомобилем. Модель основана на вероятности нахождения автомобиля в зоне пешей доступности. Полученные формулы позволили рассчитать вероятность того, что автомобиль будет найден, в зависимости от количества свободных автомобилей и предельного расстояния до него. Оказалось, что при небольшом автопарке практически невозможно найти свободный автомобиль. Сделан вывод, что нужно значительно увеличить автопарк, для того чтобы обеспечить необходимое качество услуги для стимулирования спроса.

Ключевые слова

каршеринг, городская транспортная система, математическое моделирование, вероятность, автопарк, уровень автомобилизации, найм автомобиля

Для цитирования

Берфельд М.А. Математическое моделирование вероятности наличия автомобиля каршеринга в шаговой доступности / М. А. Берфельд, М. Е. Корягин, В. Н. Катаргин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 54–59. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).54-59

Информация о статье

поступила в редакцию: 21.04.2020, поступила после рецензирования: 22.05.2020, принята к публикации: 01.06.2020

Mathematical simulation of the probability of the car sharing availability at a walking distance

М. А. Berfeld¹, М. Е. Koryagin², V. N. Katargin¹✉

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, the Russian Federation

² Siberian Transport University, Novosibirsk, the Russian Federation

✉ vnkatarin@sfu-kras.ru

Abstract

Currently, driving a car is an integral part of life in Russian cities. But parking problems make car ownership less attractive. Therefore, car sharing services are being actively developed in the world and in Russia. The main advantage for the client is the absence of parking problems. Unlike a taxi, the client has the ability to drive a car. First of all, this service is developing in large cities. However, one of the largest cities in Russia, Krasnoyarsk, has gained a negative experience in car sharing. To analyze the problems, a mathematical model of the efficiency of the car search was built. First, statistics were collected that showed a low demand for car sharing. Then the district with the most orders was selected. For this district, formulas for calculating the average distance between the client and the car are obtained. The model is based on the probability of finding a car within walking distance. The obtained formulas made it possible to calculate the probability of finding a car depending on the number of free cars and the maximum distance to it. It turned out that with a small car fleet, it is almost impossible to find a free car in the walking distance. It is concluded that it is necessary to significantly increase the size of the car fleet in order to provide the necessary quality of service to stimulate demand.

Keywords

car sharing, urban transport system, mathematical modeling, propability, car fleet, automobilization level, car rent

For citation

Berfel'd M. A., Koryagin M. E., Katargin V. N. Matematicheskoe modelirovanie veroyatnosti nalichiya avtomobilya karsheringa v shagovoi dostupnosti [Mathematical simulation of the probability of the car sharing availability at a walking distance]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 3(67), pp. 54–59. 10.26731/1813-9108.2020.3(67).54-59

Article Info

Received: 21.04.2020, Revised: 22.05.2020, Accepted: 01.06.2020

Введение и постановка проблемы

На сегодняшний день одной из основных задач многих городов является решение вопроса, связанного с высоким уровнем автомобилизации. К основным негативным последствиям такой проблемы относятся социальные, экономические и экологические последствия. В попытке уменьшить негативное воздействие широкого использования частных автомобилей, в городах все чаще стремятся к более высокому уровню устойчивости, сосредоточившись на поиске эффективных способов удовлетворения ежедневных потребностей в перевозках. Благодаря анализу тенденций развития городских транспортных систем можно предложить несколько стратегий, направленных на решение данной задачи. Среди них – использование таких альтернативных видов передвижения, как общественный транспорт или такси [1, с. 157–158]. Тем не менее некоторые поездки всегда будут зависеть от автомобиля. Из-за высокой мобильности личный автомобиль остается для многих основным средством передвижения по городу. Результатом этого являются увеличение количества заторов транспортной сети, ухудшение экологической ситуации в городе, а также различные негативные социально-экономические последствия [2, с. 160].

В мировой практике одним из решений данной проблемы служит система совместного использования автомобиля. Иными словами, услуги каршеринга являются альтернативой личному автомобилю, обеспечивая высокую мобильность при низкой стоимости владения.

Исследованию данной темы посвящены труды российских и зарубежных авторов. Вопросом совместного использования автомобиля занимались Д.А. Коршиков, С.В. Глаголева. В своей статье о каршеринге авторы рассмотрели плюсы и минусы данного сервиса [3, с. 52–55]. Инновации и особенности процедуры аренды автомобиля описаны в трудах А.В. Орлова, К.Г. Нахапетяна [4, с. 1–6]. Задачей динамического перераспределения автомобилей каршеринга с целью достижения согласования спроса и предложения занимались Н.С. Багров, Д.В. Денисов [5, с. 14]. В своей научной статье В.Н. Трегубов анализирует тенденции развития системы интеллектуальной аренды автомобилей в городах, а также определяет и систематизирует ключевые факторы, обуславливающие перспективы развития системы каршеринга в России [6, с. 446]. Из зарубеж-

ных авторов можно отметить Т.Д. Chen, его диссертацию о выборе транспортных средств и инфраструктуре [7]. Каршеринг и его экономические преимущества описаны в статье С. Rodier и S. Shaheen [8, с. 2–3]. Оценкой и моделированием спроса на совместное использование автомобилей с использованием заявленных методов предпочтения в Европе занимались М. Catalano, В. Lo Casto, М. Migliore [9, с. 33–50].

В данной статье изучен спрос на услуги каршеринга в г. Красноярске. На основе статистического анализа построена математическая модель для расчета расстояния от потенциального клиента до свободного автомобиля.

Сбор и анализ данных

В России каршеринг появился в 2013 г. и очень быстро стал популярным, а к 2020 г. Москва заняла первое место среди городов, где автопарк каршеринга достигает более 20 тыс. автомобилей [10]. В сентябре 2018 г. одна из популярных компаний по предоставлению услуг каршеринга в России появилась в г. Красноярске [11]. «Делимобиль» стал первым в городе сервисом поминутной аренды автомобилей, быстро найдя свою целевую аудиторию, а именно – студентов.

Сбор данных производился с 3 по 15 марта 2020 г., при помощи мобильного приложения каршеринга «Делимобиль» наблюдалось местоположение автомобилей в г. Красноярске. Для более детального анализа и последующей оценки спроса каждому административному району в городе был присвоен номер (рис. 1) [12]. Остров Татышев и аэропорт обозначены номерами 8 и 9. Ниже представлены исходные данные (табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные по г. Красноярску
Table 1. Initial data for the city of Krasnoyarsk

Район	Население, чел	Площадь, км ²
Железнодорожный	94 946	18,0
Кировский	116 575	45,7
Ленинский	150 124	58,44
Октябрьский	180 651	86,3
Свердловский	141 993	72,0
Советский	323 783	93,7
Центральный	75 722	36,0

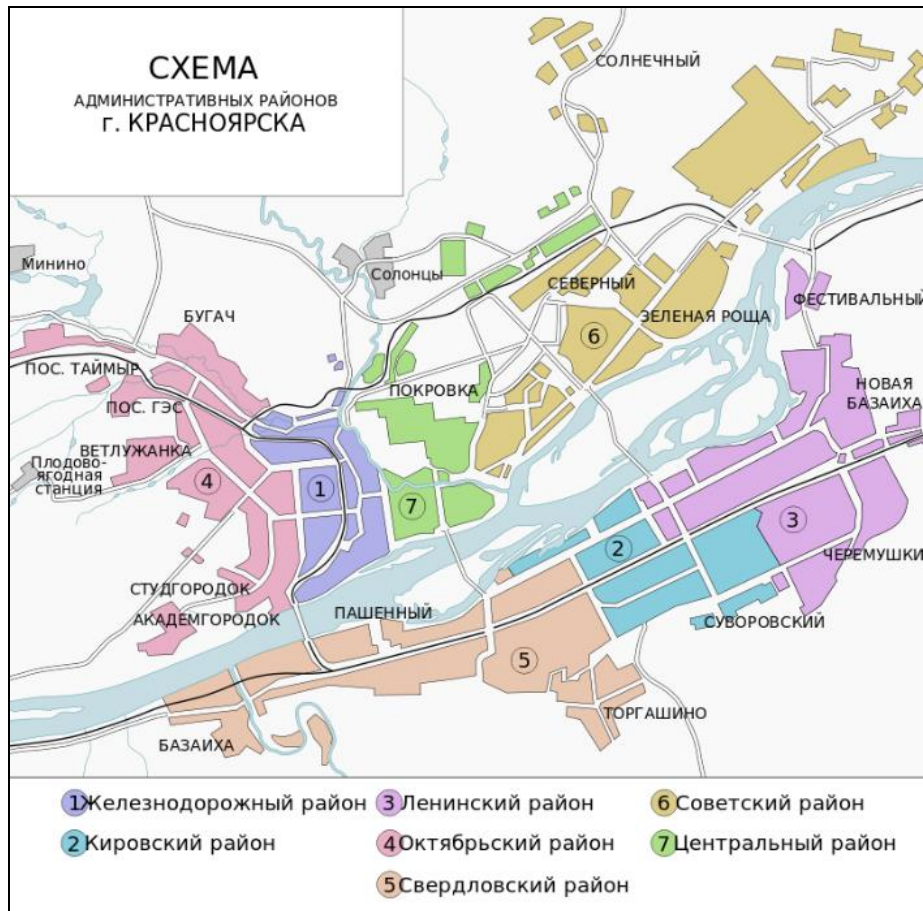


Рис. 1. Схема административных районов г. Красноярска

Fig 1. Map of administrative districts of Krasnoyarsk

Проанализировав информацию, получаем гистограмму распределения времени использования автомобиля (рис. 2), где по вертикальной оси указано количество поездок, совершенных на автомобилях каршеринга за весь период наблюдения, а по горизонтальной оси – продолжительность поездки.

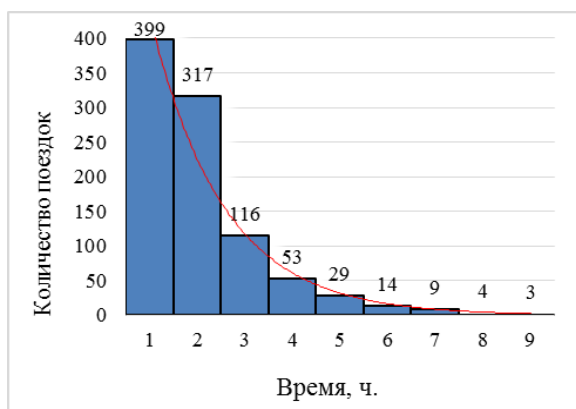


Рис. 2. Гистограмма распределения времени использования автомобиля

Fig. 2. Histogram of the car usage time distribution

Видно, что поездки продолжительностью 1 ч. и меньше – самое частое явление для каршеринга в Красноярске. Получаем функцию экспоненциального распределения:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-0,65 \cdot x} & , x \geq 0 \\ 0 & , x < 0 \end{cases}$$

Исходя из данных, полученных в результате наблюдения, построим матрицу корреспонденции (табл. 2). По вертикали указаны номера районов, из которых автомобиль выехал, по горизонтали – конечный район, в который автомобиль приехал.

Таблица 2. Матрица корреспонденции

Table 2. Correspondence matrix

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	25	0	0	19	8	11	11	3	0
2	0	12	0	2	9	5	0	0	0
3	3	0	4	2	9	5	2	0	0
4	23	2	2	120	12	44	31	3	0
5	7	6	7	23	79	28	24	2	0
6	16	8	4	28	31	98	43	11	2
7	7	7	2	19	23	40	34	0	0
8	0	0	0	4	3	6	5	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Можно наблюдать, что наиболее частое перемещение 4–4, т. е. поездка по Октябрьскому району. Также в нескольких районах наблюдался дисбаланс между занятыми и оставленными машинами в конце поездки. Например, автомобили, оставленные в Центральном районе (№ 7), нуждались в перестановке в район с более высоким спросом чаще, чем из других районов. Коэффициент корреляции количества заказанных автомобилей с количеством населения: $r = 0,62$.

Методика

Задачей оценки спроса является решение основной проблемы каршеринговой услуги, а именно – плотность автомобилей. Другими словами, какое должно быть расстояние от потенциального клиента до свободного автомобиля. Для математической оценки распределения объектов на плоскости воспользуемся методом «ближайшего соседа». Метод описывает три типа распределения объектов на плоскости, в нашем случае это случайное распределение (рис. 3) [13, с. 213].

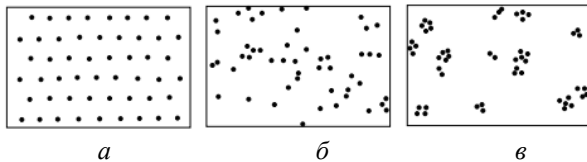


Рис. 3. Типы распределения объектов на плотности:

- a – равномерное распределение;
 b – случайное распределение, c – групповое распределение

Fig. 3. Types of distribution of objects on the plane:
 a – uniform distribution; b – random distribution,
 c – group distribution

Для математической модели будем использовать следующие величины:

$$\bar{r} = \frac{1}{2\sqrt{\rho}} - \text{среднее расстояние до ближайшего соседа, ожидаемое при случайном распределении объектов;}$$

$\sigma = \frac{0,26136}{\sqrt{N_p}} - \text{стандартная ошибка случайного распределения;}$

$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} - \text{функция нормального распределения.}$

На примере Октябрьского района построим математическую модель для оценки спроса (табл. 3). Так как обе характеристики прямо пропорциональны количеству автомобилей и подчиняются законам функции нормального распределения, то приведем данные среднего расстояния до ближайшего свободного автомобиля и дисперсии (табл. 4).

Таблица 3. Характеристики для моделирования
 Table 3. Features for modeling

Показатель	Числовое значение
Население, чел.	180
Плотность автомобилей	0,011628
Расстояние, км	0,6
Площадь, км ²	86

Пример расчета среднего расстояния, дисперсии и вероятности нахождения для одного автомобиля, находящегося на расстоянии 0,6 км.

$$\bar{r} = \frac{1}{2\sqrt{0,011628}} = 4,63; \sigma = \frac{0,26136}{\sqrt{1 \cdot 0,011628}} = 2,42;$$

$$F(0,6) = \int_{0,6}^0 \frac{1}{2,42\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(0,6-0)^2}{2,42^2}} = 0,004.$$

Таблица 4. Среднее расстояние и дисперсия
 Table 4. Average distance and variance

Количество автомобилей	\bar{r}	σ
1	4,636809	2,420414
2	3,278719	1,711491
3	2,677063	1,397427
4	2,318405	1,210207
5	2,073644	1,082442

В среднем количество свободных автомобилей в Октябрьском районе – 5. В конечном итоге получаем два графика. На рис. 4 приведена вероятность найти автомобиль, если количество автомобилей – 5, а человек согласен идти от 0,3 до 1,2 км. С учетом того расстояния, которое клиент готов пройти до автомобиля (рис. 4, 5). По оси X отображено допустимое расстояние до свободного автомобиля, максимальное значение – 1,2 км. Ось Y – вероятность нахождения свободного автомобиля, максимум – 0,2 (рис. 4).

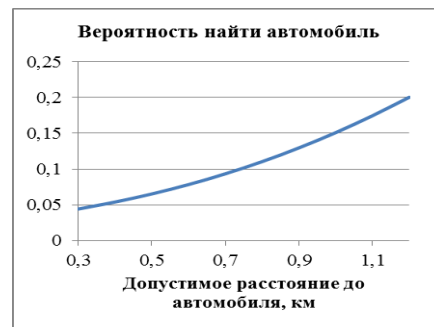


Рис. 4. Вероятность найти автомобиль на расстоянии 1,2 км

Fig. 4. Probability of finding a car at a distance of 1.2 km

На графике ниже показана вероятность нахождения автомобиля, если человек согласен идти не более 600 метров (рис. 5). Ось X – количество свободных автомобилей, где максимальное значение 25. На оси Y – вероятность найти автомобиль.

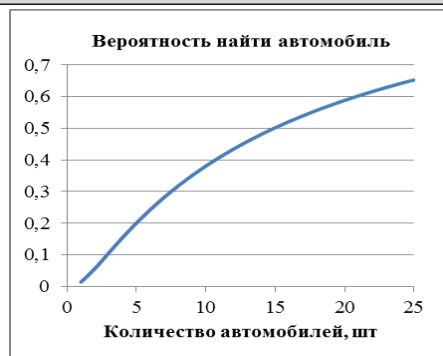


Рис. 5. Вероятность найти автомобиль, если клиент согласен идти не более 600 м

Fig. 5. Probability of finding a car if the customer agrees to go no more than 600 m

Заключение

На основании исследования можно сделать следующий вывод. Плотность автомобилей недостаточна для того, чтобы удовлетворить спрос потенциальных клиентов. Слишком большие затраты требовалось понести компании, чтобы сделать этот показатель приемлемым, поэтому «Делимобиль» приостановил свою деятельность на территории г. Красноярска. С помощью данной математической модели новая компания сможет выстроить правильную политику и успешно закрепиться на рынке услуг по предоставлению поминутной аренды автомобилей.

Список литературы

1. Зырянова И.С. Аренда автомобилей как отрасль сервиса: географические и организационные аспекты // Региональные исследования. 2018. № 1 (59). С. 156–165.
2. Бояркина Е.Ф. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города : дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2011. 160 с.
3. Глаголева С.В., Коршиков Д.А. Каршеринг как замена личного автомобиля // Наука и социум : материалы Всероссий. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Новосибирск, 2018. С. 51–56.
4. Орлов А.В., Нахапетян К.Г. Инновации и особенности процедуры аренды автомобиля // ИСТОЧНИК ОПИСАНИЯ НЕ НАШЛА С. 1–6.
5. Багров Н.С., Денисов Д.В. Задача динамического перераспределения автомобилей каршеринга // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Vol. 7. №. 8. Pp. 14.
6. Трегубов В.Н. Интеллектуальные системы поддержки совместного использования автомобилей в городе // Организация и безопасность дорожного движения : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 2017. 446 с.
7. Chen T.D. Management of a Shared, Autonomous, Electric Vehicle Fleet: Vehicle Choice, Charging Infrastructure & Pricing Strategies : dissertation ... doctor Philosophy. Texas at Austin, 2015. 109 p.
8. Rodier C., Shaheen S. Carsharing and carfree housing: predicted travel, emission, and economic benefits // Transportation Sustainability Research Center. 2004. P. 2–3.
9. Catalano M., Lo Casto B., Migliore M. Car sharing demand estimation and urban transport demand modelling using stated preference techniques // European Transport. 2008. № 40. P. 33–50.
10. Москва стала мировым лидером по числу автомобилей каршеринга // Автостат: Автомобильная статистика : сайт. URL: <https://www.autostat.ru/news/42403/> (дата обращения: 08.04.2020).
11. Каршеринг Делимобиль в Красноярске [Электронный ресурс]. URL: <https://old.delimobil.ru/kry/index> (дата обращения 23.04.2020).
12. Районы Красноярска // Википедия : сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD%D1%8B_%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%8F%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0 (дата обращения 02.04.2020)
13. Харитонов С.П. Метод «ближайшего соседа» для математической оценки распределения биологических объектов на плоскости и на линии // Вестник Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2005. № 1. С 213–221.

References

1. Zyryanova I.S. Transport udobnyi dlya zhizni [Transport that makes life comfortable] // *Arenda avtomobiley kak otrasl' servisa: geograficheskie i organizatsionnye aspekty / Regional'nye problemy razvitiya turizma [Car rental as a service industry: geographical and organizational aspects / Regional problems of tourism development]*, 2018. Pp. 157–158.
2. Boyarkina E.F. Zakonomernosti formirovaniya kolichestva legkovykh avtomobiley na ulichno-dorozhnoi seti goroda [Regularities of the formation of the number of passenger cars on the city's road network]. TyumGNGU Publ., 2011. Pp. 160.
3. Glagoleva S.V., Korshikov D.A. Karshering kak zamena lichnogo avtomobilya [Car sharing as a replacement for a personal vehicle]. Pp. 52–55.
4. Orlov A.V., Nakhapetyan K.G. Innovatsii i osobennosti protsedury arendy avtomobilya [Innovations and features of the car rental procedure]. Pp. 1–6.
5. Bagrov N.S., Denisov D.V. Zadacha dinamicheskogo pereraspredeleniya avtomobiley karsheringa [The problem of dynamic redistribution of car sharing vehicles] // *International Journal of Open Information Technologies*. ISSN: 2307-8162, 2019. Vol. 7. No. 8. Pp. 14.
6. Tregubov V.N. Intellektual'nye sistemy podderzhki sovmestnogo ispol'zovaniya avtomobiley v gorode [Smart systems of the car sharing support in the city]. 446 p.

7. Chen T.D., Vybory transportnykh sredstv [Choice of transportation vehicles] // *Management of a Shared, Autonomous, Electric Vehicle Fleet: Vehicle Choice, Charging Infrastructure & Pricing Strategies*. p-hd. 2015.
8. Rodier C., Shaheen S. Ekonomicheskie preimushchestva karsheringa [Economic benefits of car sharing] // *Carsharing and carfree housing: predicted travel, emission, and economic benefits*. 2004. Pp. 2–3.
9. Catalano M., Lo Casto B., Migliore M. Otsenka i modelirovanie sprosа na usluzhi karsheringa [Estimation and modeling of demand for car sharing services] // *Car sharing demand estimation and urban transport demand modelling using stated preference techniques / European Transport*, No. 40. 2008. Pp. 33–50.
10. Moskva stala mirovym liderom po chislu avtomobilei karsheringa [Moscow became the world leader in the number of carsharing cars], 2020. [Electronic media]. URL: <https://www.autostat.ru/news/42403/> (Accessed: April 08, 2020)
11. Karshering Delimobil' v Krasnoyarske [Car-sharing Delimobil in Krasnoyarsk] [Electronic media]. URL: <https://old.delimobil.ru/kry/index> (Accessed: April 23, 2020)
12. Raiony Krasnoyarska [Krasnoyarsk districts] [Electronic media]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D> (Accessed: April 02, 2020)
13. Kharitonov S.P. Metod «blizhaishego soseda» dlya matematicheskoi otsenki raspredeleniya biologicheskikh ob"ektov na ploskosti i na linii [The "nearest neighbor" method for the mathematical assessment of the distribution of biological objects on a plane and on a line], 2005. 213 p.

Информация об авторах

Берфельд Максим Андреевич – магистрант кафедры транспорта, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, e-mail: electroschokker@gmail.com

Корягин Марк Евгеньевич – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой высшей математики, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: markkoryagin@yandex.ru

Катаргин Владимир Николаевич – к. т. н., профессор, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, e-mail: vnkatarin@sfu-kras.ru

Information about the authors

Maksim A. Berfel'd – Master's student, the Subdepartment of Transport, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: electroschokker@gmail.com

Mark E. Koryagin – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Subdepartment of Higher Mathematics, Siberian Transport University, e-mail: markkoryagin@yandex.ru

Vladimir N. Katargin – professor, Ph.D. in Engineering Science, Siberian Federal University, e-mail: vnkatarin@sfu-kras.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.3(67).59-70

УДК 629.023

Определение точности методики расчета скорости перед столкновением транспортного средства по остаточным деформациям в результате дорожно-транспортного происшествия

В. А. Ксенофонтова, Л. А. Княшко, П. К. Сопин✉

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация

✉ PKSopin@sevsu.ru

Резюме

При расследовании обстоятельств дорожно-транспортных происшествий для выяснения механизма столкновения важно точно определить скорости, с которыми двигались транспортные средства. Работа посвящена оценке точности методики определения скорости транспортного средства перед наступлением дорожно-транспортного происшествия по возникшим остаточным деформациям элементов конструкции автомобилей. Для определения точности методики проводилось натурное экспериментальное исследование остаточных деформаций. Основой методики эксперимента является принцип подобия Кирпичева – Барба – Кика. Описан порядок проведения эксперимента, применяемая установка и исследуемые образцы, включающие как масштабные модели, так и реальные элементы конструкции автомобиля. Экспериментальная установка позволяет с управляемой энергией удара деформировать различные образцы, а затем по измеренным деформациям произвести определение эквивалентной энергии методом смещенного объема. Приведены полученные экспериментальные данные в виде массивов координат деформированных узлов масштабных моделей. Отражены результаты теоретического определения энергии удара, затраченной на деформацию образцов. Проводились эксперименты и для реальных элементов конструкции автомобилей. Количество поглощенной энергии определялось методом смещенного объема. Для определения зоны распространения пластической деформации был произведен металлографический анализ структуры зоны деформации. Проведенный анализ экспериментальных и расчетных значений определения энергии деформации образцов показал, что метод определения поглощенной энергии дает погрешность не более 14 %, при этом повышение точности измерений деформированного объекта позволяет повысить точность результата. Сделан вывод, что методика расчета скорости перед дорожно-транспортным происшествием по остаточным деформациям транспортного средства имеет высокую точность и представляет собой инструментальную базу для объективного исследования механизма дорожно-транспортного происшествия.