

Научная статья
УДК 656.029
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-4-630-642>
EDN: VPBWHB



ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ РЕЗЕРВНОГО ПАРКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.И. Фадеев ✉, **А.М. Ильянков**
Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия
✉ ответственный автор
9135335784@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Сбалансированное (устойчивое) развитие автомобильного транспорта, скоординированное с другими элементами городской инфраструктуры, соответствие транспортного спроса и предложения, формирование и реализация эффективных стратегий развития автомобильного транспорта общего пользования является важнейшей современной проблемой. В рамках данного направления одной из актуальных нерешенных до настоящего времени задач является определение численности резерва парка подвижного состава для надежного транспортного обслуживания. На практике дефицит подвижного состава зачастую является причиной низкой согласованности логистического процесса, сбоев в работе автоперевозчиков, штрафов за невыполнение договорных обязательств перед заказчиком и за нарушения законодательства.

Материалы и методы. Для обеспечения необходимой надежности транспортной системы необходимо определить требуемый уровень резерва подвижного состава. В настоящей работе представлена методика решения данной задачи, основанная на аппарате теории вероятностей и математической статистики.

Методика позволяет рассчитать размер страхового запаса подвижного состава, обеспечивающий заданную надежность транспортной системы, которая устанавливается с учетом факторов, обусловленных конкретными условиями перевозочного процесса.

Обсуждение и заключение. Практическая эффективность предложенной методики показана на примере решения задачи для условий реальной транспортной организации. Методика прошла успешную апробацию и в настоящее время применяется на практике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: парк подвижного состава, резерв подвижного состава, техническая готовность транспортных средств, надежность транспортной системы

Статья поступила в редакцию 28.04.2025; одобрена после рецензирования 21.07.2025; принята к публикации 22.08.2025.

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: Фадеев А.И., Ильянков А.М. Определение размеров резервного парка автотранспортных средств // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, №4. С. 630-642. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-4-630-642>

© Фадеев А.И., Ильянков А.М., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-4-630-642>

EDN: VPBWHB

DETERMINING THE SIZE OF THE MOTOR VEHICLE RESERVE FLEET

Alexander I. Fadeev ✉, Alexey M. Ilyankov

Siberian Federal University,

Krasnoyarsk, Russia

✉ corresponding author

9135335784@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The balanced (sustainable) development of road transport, coordinated with other elements of urban infrastructure, the correspondence of transport demand and supply, the formation and implementation of effective strategies for the development of public road transport is the most important modern problem. Within the framework of this direction, one of the urgent unsolved tasks so far is to determine the number of reserve fleet of the rolling stock for reliable transport services. In practice, the shortage of rolling stock is often the reason for the low coordination of the logistics process, disruptions in the work of road carriers, fines for non-performance of the contractual obligations to the customer and for violations of the law.

Materials and methods. To ensure the necessary reliability of the transport system, it is necessary to determine the required level of rolling stock reserve. The work presents a method for solving the stated problem, based on the apparatus of the theory of probability and mathematical statistics.

The methodology allows calculating the safety size of the rolling stock reserve, which ensures the specified reliability of the transport system, which is established taking into account factors determined by the specific conditions of the transportation process.

Discussion and conclusion. The practical effectiveness of the proposed method is shown by the example of solving the problem for the conditions of a real transport organization. The technique has been successfully tested and is currently being applied in practice.

KEYWORDS: rolling stock fleet, rolling stock reserve, vehicles' technical operational serviceability, reliability of the transport system

The article was submitted: April 28, 2025; **approved after reviewing:** July 21, 2025; **accepted for publication:** August 22, 2025.

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. Fadeev A.I., Ilyankov A.I.M. Determining the size of the motor vehicle reserve fleet. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (4): 630-642. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-4-630-642>

© Fadeev A.I., Ilyankov A.I.M., 2025



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

ВВЕДЕНИЕ

Для экономики и общества автомобильный транспорт имеет важнейшее значение – он обеспечивает перевозки грузов и мобильность населения. Сбалансированное развитие автомобильного транспорта, скоординированное с другими элементами транспортной системы, соответствие транспортного спроса и предложения, формирование и реализация эффективных стратегий развития автомобильного транспорта общего пользования является важнейшей современной проблемой¹. Одна из актуальных задач решения данной проблемы – обеспечение надежности транспортных систем и процессов.

В настоящее время во многих работах рассматривается задача формирования парка подвижного состава в соответствии с имеющимся транспортным спросом [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Предлагаемые методики позволяют рассчитать число транспортных средств, непосредственно осуществляющих перевозки пассажиров или грузов. При этом вопрос резервирования парка для обеспечения необходимого уровня надежности транспортного процесса, как правило, не рассматривается.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Постановка задачи. Обеспечение согласованного с заказчиком уровня надежности и эффективности автотранспортной системы является актуальной задачей, для решения которой применяются структурные, ресурсные и функциональные резервы [7, 8]. Однако в настоящее время на практике эффективные методы нормирования надежности автотранспортных услуг не используются [7]. В результате зачастую это вызывает низкую согласованность во взаимодействии участников процесса доставки, сбои в работе автоперевозчиков, штрафы за невыполнение договорных обязательств перед заказчиком и за нарушения законодательства [7].

В данной работе рассматривается один из важнейших параметров надежности транспортной системы – уровень технической готовности парка, обеспечение требуемого числа транспортных средств на линии.

Техническая готовность парка зависит от уровня организации технического обслуживания и ремонта, т.е. эффективность техниче-

ской эксплуатации подвижного состава [9, 10]. В статье [10] оценивается влияние политики мониторинга технического обслуживания на стоимость жизненного цикла автобуса, времени замены и размер резервного парка.

Распространены исследования [11, 12] организации и планирования технического обслуживания на основе анализа моторного масла с целью определения необходимости его замены, что определяет уровень затрат на техническое обслуживание в течение срока службы автобуса. Рассматриваются экономические подходы к решению задачи замены автобусов на основе глобальной модели с учетом технической готовности парка и затрат на техническое обслуживание. Эти факторы помогают определить размер резервного парка и гарантировать его техническую готовность.

Как известно [13], требуемый уровень надежности автотранспортной системы обусловливается текущим состоянием парка, характеристиками его использования, а также параметрами спроса на транспортные услуги.

Оценку удовлетворенности потребителей грузовых автотранспортных услуг в работе [14] предлагается осуществлять посредством контент-анализа отзывов на интернет-ресурсах, что считается актуальной задачей для стимулирования спроса на грузовые автомобильные перевозки.

В работе [15] предложен подход компенсации недостаточного резерва парка, заключающийся в формировании нового расписания перевозок при возникновении серьезных сбоев в транспортном процессе. Разработанный алгоритм обеспечивает минимум отклонений от первоначального плана.

Одним из основных направлений повышения надежности автотранспортной системы считается формирование резервов автопарка [7].

В работе [16] предложена интегрированная модель оценки резервного парка, основанная на модели экономического жизненного цикла подвижного состава.

При решении задачи определения необходимого резерва парка транспортных средств (легковых автомобилей, автомашин и т.д.) в качестве критерия оптимальности применяются разные показатели: упущенная выгода от перевозок [17], транспортные расходы [15], сумма затрат оператора и расходов заказчика

¹ Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни. Transportation for Livable Cities. Территория будущего, 2011. 576 с.

[18] и др. В статье [17] приведена математическая модель, которая позволяет определить величину упущенной выгоды от перевозок из-за нехватки транспортных средств с определенными технологическими, эксплуатационными и экономическими параметрами подвижного состава.

В работе [18] дана оптимизированная модель резервирования автопарка в транспортных системах, чтобы обеспечить ее надежность и минимизировать общую стоимость функционирования. Математическая модель парка подвижного состава сформирована с применением аппарата системы массового обслуживания, в которой описывается пуассоновский поток отказов транспортных средств и процесс их восстановления технической службой перевозчика с n каналами обслуживания. В данном случае в модели не учитываются плановые технические обслуживания, которые не являются отказами, а также необходимость учета типов неисправностей и специализации каналов обслуживания (например, ремонт системы питания, электрооборудования и т.д.).

Автобусы из резервного парка общественного транспорта используются для замены транспортных средств, проходящих плановое техническое обслуживание или текущий ремонт [9]. Они также могут быть задействованы в чрезвычайных ситуациях, таких как аварии или неожиданные поломки. Определить размер резервного парка сложно. В национальных и международных автотранспортных компаниях существует широкий диапазон рекомендаций по удельному весу резервного парка к общему. Например, в США определено это соотношение на уровне 20%². Очевидно, что в данном случае резерв устанавливается с большим запасом на основе предыдущего опыта. Такой подход влечет существенные затраты.

В работе [19] повышение эффективности доставки предлагается за счет резервирования транспортных мощностей парка грузового транспорта в логистических розничных сетях. В качестве критерия эффективности применяется минимум логистических затрат, в которых учитывается стоимость доставки и потери от неполной поставки товара в розничную сеть. Данная модель разработана для частного случая конкретного вида логистических систем, что ограничивает ее применение.

Размер среднегодовой стоимости эксплуатации автобуса за весь срок службы с учетом резервного числа транспортных средств может служить фактором, посредством которого определяется время эксплуатации дизельных автобусов, работающих на городских маршрутах [12].

Уровень технической готовности подвижного состава в зарубежных источниках оценивается следующим образом [9]:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}, \quad (1)$$

где MTBF – среднее время наработки на отказ;
MTTR – среднее время ремонта.

В России на автомобильном транспорте для оценки качества работы подвижного состава используются показатели эффективности технической эксплуатации. В современных источниках [8, 20, 21] для оценки потребного резерва подвижного состава применяется коэффициент технической готовности, который рассчитывается для парка за день или заданный период, а также для автомобиля за определенный число дней эксплуатации.

Доля рабочего времени, в течение которого автомобиль исправен (готов к эксплуатации) и может быть использован в транспортном процессе:

$$\alpha_m = \frac{D_{\text{эз}}}{D_u}, \quad (2)$$

где $D_{\text{эз}}$ – количество дней в расчетном периоде, когда автомобиль был готов к эксплуатации (исправен);

D_u – число инвентарных дней, т.е. дней нахождения автотранспортного средства в организации.

Для парка за день:

$$\alpha_m = \frac{A_{\text{эз}}}{A_u}, \quad (3)$$

где $A_{\text{эз}}$ – число транспортных средств, готовых к эксплуатации;

A_u – общее (инвентарное) число автомобилей в парке.

Для учета парка применяется единица измерения «автомобиле-день»³, т.е. коэффициент технической готовности парка автомобилей за определенный период времени:

² Circular C 1A 1987 9030, Appendix A, of the FTA (Federal Transit Administration, USA).

³ ОК 015-94 (МК 002-97). Общероссийский классификатор единиц измерения (утв. Постановлением Госстандарта России от 26.12.1994 N 366) (ред. от 02.09.2024).

$$\alpha_m = \frac{AD_{\text{эз}}}{AD_u}, \quad (4)$$

где $AD_{\text{эз}}$ – количество автомобиле-дней парка, готовых к эксплуатации;

AD_u – число инвентарных автомобиле-дней парка.

В некоторых работах размер резервного парка определяется на основе среднего времени нахождения транспортных средств в ремонте за определенный период. В работе [9] рассматривается влияние на техническую готовность парка разных факторов системы технической эксплуатации, например, интервала замены масла в двигателе. Получено в [12], что число резервного подвижного состава от среднего времени ремонта транспортных средств имеет линейную зависимость (рисунок 1).

В [16] предлагается аналогичный подход, для расчета размера резервного парка предлагается

$$FR = \frac{m \times MTTR}{k}, \quad (5)$$

где m – численность парка;

MTTR – среднее время нахождения автомобиля в ремонте в расчетном периоде, дни;

k – количество дней расчетного периода.

Основной недостаток данного подхода – рассчитывается средний резерв без случайных факторов.

Размер парка можно рассчитывать с использованием приближения из теории запасов, в которой учитываются существующие неопределенности [20]. Например, применение данного подхода по сравнению с существующей практикой управления парком железнодорожных вагонов позволило сократить страховой запас на 120 вагонов и, таким образом, снизить прямые затраты на 8%, а также дополнительно сократить косвенные расходы.

В данном случае используются методы теории запасов, учитывающие случайные факторы, однако методика определения оптимальной структуры и размера парка железнодорожных вагонов на химическом предприятии в условиях неопределенности спроса и времени в пути не соответствует условиям автомобильного транспорта.

Таким образом, для обеспечения требуемой надежности транспортной системы необходимо определить требуемый уровень резерва подвижного состава. Как упоминалось выше, аналогичная задача решается при определении страхового запаса материальных ресурсов [22, 24]. Размер страхового запаса в этом случае рассчитывается с использованием инструментария теории вероятностей [22, 23, 24, 25]. Реальные логистические процессы носят стохастический характер, уровень резервов, обеспечивающий требуемую надежность логистического процесса, обуславливается статистическими параметрами соответствующих случайных величин [24].

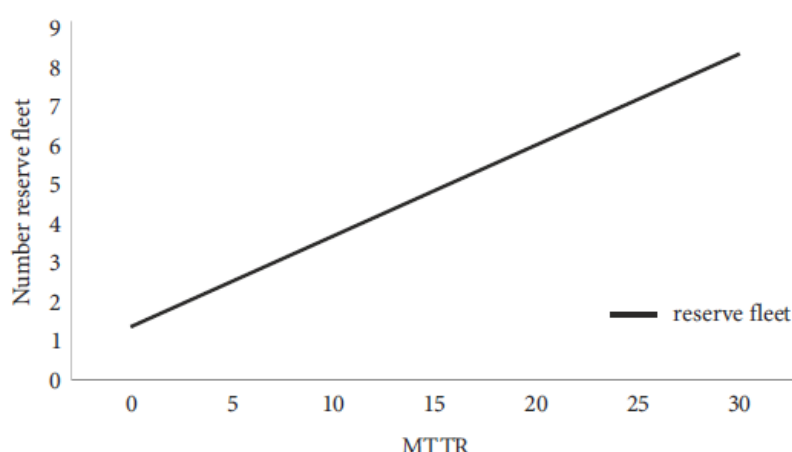


Рисунок 1 – Зависимость числа резервного подвижного состава (Number reserve fleet) от среднего времени ремонта (MTTR), ч [12]

Figure 1 – Dependence of the Number of Reserve Fleet on the Mean Time to Repair (MTTR), hour [12]

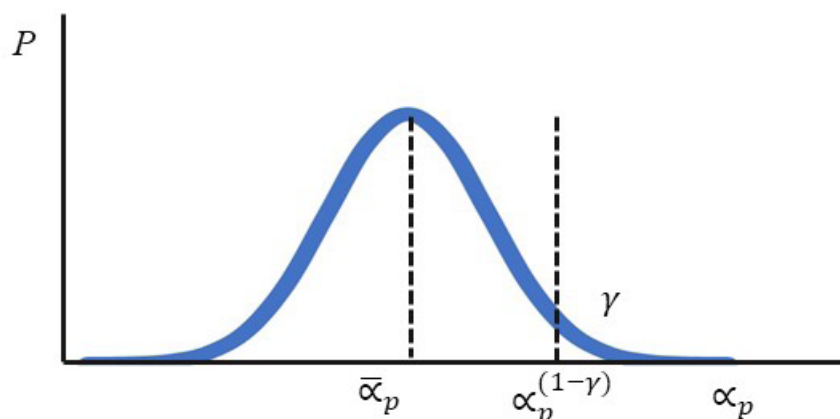


Рисунок 2 – Примерный график плотности вероятности числа транспортных средств, находящихся в ремонте; где $\bar{\alpha}_p$ – математическое ожидание; $\alpha_p^{(1-\gamma)}$ – относительное число автомобилей резервного парка при уровне значимости γ
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Approximate probability density plot of the number of vehicles, under repair; where: $\bar{\alpha}_p$ – mathematical expectation; $\alpha_p^{(1-\gamma)}$ – relative number reserve fleet vehicles at the level of significance γ
Source: compiled by the authors.

Решение задачи. Размер резервного парка должен компенсировать число транспортных средств, находящихся в техническом обслуживании и текущем ремонте. Определим относительное число таких автомобилей за i -й день следующим образом:

$$\alpha_{pi} = \frac{A_{pi}\bar{A}_u}{\bar{A}_3 A_{ui}}, \quad (6)$$

где A_{pi} – число автомобилей в ремонте и техническом обслуживании в i -й день;

$\bar{A}_u, \bar{A}_3$ – среднее число автомобилей в парке и в эксплуатации соответственно;

A_{ui} – число автомобилей в парке в i -й день.

Через отношение $\bar{A}_u/A_{ui}$ учитывается динамика численности парка в периоде обследования.

Примерный график плотности вероятности α_p , приведенный на рисунке 2, иллюстрирует решение задачи резервирования парка транспортных средств. Резервная численность парка определяется через $\alpha_p^{(1-\gamma)}$. Для расчета резерва парка необходимо выбрать критическое значение уровня значимости γ , т.е. допускаемую заказчиком перевозок вероятность отказа в обслуживании, когда не обеспечивается выпуск на линию заданного числа транспортных средств. $1-\gamma$ – это уровень надежности обслуживания.

Критические значения вероятностей выбираются с учетом особенностей соответствующего вида перевозок. При решении данной задачи можно исходить из условия равенства расходов на резервный парк упущенной выгоде, прямых

убытков [15], суммы убытков оператора и заказчика [18] и др. В [17] для расчета упущенной выгоды из-за нехватки транспортных средств приведена математическая модель.

В статистике наиболее часто используются следующие значения уровня значимости: 0,1; 0,05 или 0,01.

Допустим, что требуется обеспечить выпуск на линию $A_3^{(1-\gamma)}$ автомобилей. Необходимый резерв транспортных средств рассчитывается:

$$A_p^{(1-\gamma)} = A_3^{(1-\gamma)} \alpha_p^{(1-\gamma)}. \quad (7)$$

$$A_u \geq A_3^{(1-\gamma)} + A_p^{(1-\gamma)}. \quad (8)$$

Для определения страхового запаса материальных запасов [22, 24] исходят из предположения о нормальном законе распределения расходования запаса. При этом для оценки стандартного отклонения применяется коэффициент вариации, который рассчитывается по ограниченной выборке.

Применение данного подхода для определения резерва подвижного состава показало недопустимые отклонения получаемых результатов от практических (экспериментальных) данных. Очевидно, что число транспортных средств в техническом обслуживании и ремонте не подчиняется нормальному закону распределения, что подтверждается примерами выборок, приведенных на рисунке 3.

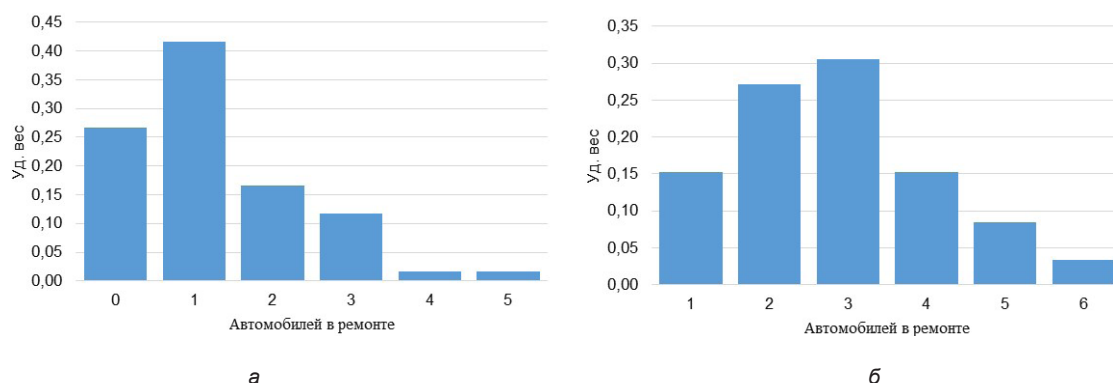


Рисунок 3 – Примеры выборок числа автомобилей, находящихся в ремонте: а – выборка 1; б – выборка 2
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Examples of samples of the number of cars under repair
Source: compiled by the authors.

Таким образом, требуется определить теоретическое распределение рассматриваемых данных. Подбор теоретического распределения состоит из следующих шагов⁴:

- построение гистограммы, формирование гипотезы о распределении;
- расчет теоретических частот путем умножения теоретической функции распределения на число наблюдений;
- сравнение полученных результатов с соответствующими данными из гистограммы.

При сравнении наблюдаемых и теоретических частот если расхождения слишком большие, то отклоняется гипотеза о том, что совокупность, из которой получена рассматриваемая выборка, описывается принятым теоретическим распределением. Иначе можно сделать вывод, что принятое распределение с достаточной точностью описывает генеральную совокупность.

Формальная проверка гипотезы осуществляется по критериям согласия (соответствия экспериментальных данных выбранному теоретическому распределению). Наибольшее распространение получила процедура, основанная на критерии согласия К. Пирсона.⁵

Имеется выборка относительного числа транспортных средств, находящихся в техни-

ческом обслуживании и ремонте за каждый i -й день периода обследования α_{pi} , полученная из реальной транспортной организации. Результаты обработки рассматриваемой выборки приведены в таблице 1. Гистограммы распределения числа автомобилей в ремонте (рисунки 3, 4) позволяют предположить, что рассматриваемый процесс подчиняется гамма-распределению⁶:

$$P(x) = f(x|a, b) = \frac{x^a e^{-\frac{x}{b}}}{b^{a+1} \Gamma(a+1)}, x > 0, \quad (9)$$

где $\Gamma(a+1)$ – гамма-функция;

a, b – параметр формы и масштаба соответственно.

При использовании критерия Пирсона для расчета критерия χ^2 рекомендуется объединять соседние группы, если $n < 5$.

Из таблицы 1 видно, что расчетные значения критерия χ^2 не превышают критической величины (6,251 при уровне значимости 0,1), т.е. гипотеза о соответствии рассматриваемого случайного процесса гамма-распределению принимается. Для рассматриваемых данных минимальный объем выборки при доверительном уровне 95% и ошибке среднего 5% составляет 21 единицу⁷.

⁴ Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных. Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 611 с.

⁵ Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 528 с.

⁶ Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных. Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 611 с.

⁷ Левин [и др.] Статистика для менеджеров с использованием Microsoft Excel, 4-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. С. 471–476.

Таблица 1

Обработка экспериментальных данных относительного числа транспортных средств в техническом обслуживании и ремонте
Источник: составлено авторами.

Table 1

Processing of experimental data on the relative number of vehicles undergoing maintenance and repair
Source: compiled by the authors.

№ п/п	x_i	f_i	$P_i = \frac{f_i}{n}$	$x_i P_i$	$\frac{f_i(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	P'_i	f'_i	χ^2
1	0,05	3	0,10	0,005	0,00089	0,065	1,9	1,32
2	0,10	10	0,34	0,034	0,00018	0,262	7,6	
3	0,15	9	0,31	0,047	0,00001	0,287	8,3	1,00
4	0,20	4	0,14	0,028	0,00037	0,196	5,7	
5	0,25	2	0,07	0,017	0,00126	0,106	3,1	
6	0,30	1	0,03	0,010	0,00270	0,050	1,4	
Сумма		29	1			Критерий Пирсона		2,38
Среднее значение				0,141	0,00541	Дисперсия		
Среднеквадратическое отклонение (σ)					0,07358			
Параметр формы (a)				3,69183	0,03830	Параметр масштаба (b)		

Примечание: x_i – середина интервала; f_i, f'_i – частота экспериментальная и теоретическая соответственно; P_i, P'_i – вероятность экспериментальная и теоретическая.

Определение относительного числа транспортных средств резервного парка $\alpha_p^{(1-\gamma)}$ можно осуществить посредством функций электронный таблицы или программы статистической обработки данных. В электронной таблице Excel имеется следующая функция для расчета $\alpha_p^{(1-\gamma)}$:

$$\alpha_p^{(1-\gamma)} = \text{ГАММА.ОБР}(1-\gamma; a; b). \quad (10)$$

Например, для упомянутых выше уровней

значимости: 0,1; 0,05 или 0,01 на основании данных таблицы 1 относительное число резервных транспортных средств составит 0,37, 0,28 и 0,24 соответственно. Таким образом, при плановом выпуске на линию 20 единиц резерв транспортных средств составит 6,4, 5,1 и 4,4 единицы. Число транспортных средств резерва округляется, далее рассчитываются полученные вероятности отказа в обслуживании:

$$(1 - \gamma) = \text{ГАММА.РАСП}(\lfloor A_p^{(1-\gamma)} \rfloor / A_u; a; b; \text{истина}), \quad (11)$$

где $A_p^{(1-\gamma)}$ – принятое целое число транспортных средств резерва.

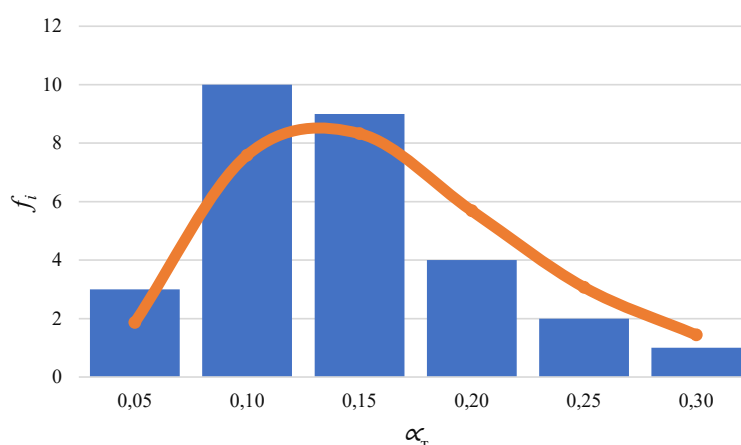


Рисунок 4 – График плотности вероятности теоретической и гистограмма распределения относительного числа транспортных средств в техническом обслуживании и ремонте
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Density plot of theoretical probability and histogram of the distribution of the relative number of vehicles undergoing maintenance and repair
Source: compiled by the authors.

Таблица 2

Пример расчета статистических параметров числа транспортных средств в техническом обслуживании и ремонте
Источник: составлено авторами.

Table 2

Calculation example of statistical parameters of the vehicles' number undergoing maintenance and repair
Source: compiled by the authors.

№ п/п	A_{ui}	A_{zi}	A_{pi}	$\alpha_{pi} = \frac{A_{pi} \bar{A}_u}{\bar{A}_z A_{ui}}$	$(\alpha_{pi} - \bar{\alpha}_p)^2$
1	26	21	4	0,192	0,00024
2	26	21	3	0,144	0,00106
3	26	21	3	0,144	0,00106
4	26	21	2	0,096	0,00648
5	26	21	2	0,096	0,00648
6	26	21	3	0,144	0,00106
7	26	21	3	0,144	0,00106
8	26	20	6	0,288	0,01242
9	26	21	3	0,144	0,00106
10	26	21	5	0,240	0,00403
11	26	21	2	0,096	0,00648
12	26	21	4	0,192	0,00024
13	26	21	2	0,096	0,00648
14	26	21	1	0,048	0,01651
15	26	20	6	0,288	0,01242
16	26	21	5	0,240	0,00403
17	26	21	4	0,192	0,00024
18	26	21	3	0,144	0,00106
19	26	21	5	0,240	0,00403
20	26	21	4	0,192	0,00024
21	26	20	6	0,288	0,01242
22	26	21	2	0,096	0,00648
23	26	21	2	0,096	0,00648
24	26	21	3	0,144	0,00106
25	26	21	5	0,240	0,00403
26	26	21	3	0,144	0,00106
27	26	21	2	0,096	0,00648
28	26	21	4	0,192	0,00024
29	26	21	5	0,240	0,00403
30	26	20	6	0,288	0,01242
31	26	20	6	0,288	0,01242
Среднее	26	20,8	3,7	0,176	
Дисперсия (S^2)					0,00513
Среднеквадратическое отклонение (σ)					0,07159
Параметр формы гамма-распределения (a)					6,076
Параметр масштаба гамма-распределения (b)					0,029
Выпуск на линию план (A_z), ед.					21
Автомобилей в парке фактически (A_u), ед.					26
Надежность транспортной системы фактическая					0,82
Коэффициент технической готовности					0,86
Коэффициент выпуска					0,80

Таблица 3
Результаты расчета резервного числа парка подвижного состава
Источник: составлено авторами.

Table 3
Calculation results of the reserve number of rolling stock fleet
Source: compiled by the authors.

Параметр	Уровень значимости		
	0,01	0,05	0,100
Надежность транспортной системы заданная	0,99	0,95	0,90
Относительное число автомобилей в резерве (α_p)	0,384	0,308	0,272
Выпуск на линию (A_3), ед.	21		
Резерв подвижного состава расчетный, ед.	8,1	6,5	5,7
Резерв подвижного состава принято, ед.	8	7	6
Потребное число автомобилей в парке, ед.	29	28	27
Резерв подвижного состава в парке, %	28	25	22
Надежность транспортной системы проектная	0,99	0,96	0,91
Коэффициент технической готовности парка	0,87	0,87	0,86
Коэффициент выпуска	0,72	0,75	0,78

Практическая реализация. Рассчитаем резервный парк подвижного состава реальной транспортной организации. В таблице 2 приведена статистика по количеству транспортных средств в ремонте и обслуживании, на основании которой определены параметры закона распределения данного случайного процесса. По имеющемуся резерву подвижного состава 5 единиц (разница между автомобилями в парке и выпуском на линию) рассчитана текущая надежность транспортной системы, которая равна 0,82.

Коэффициент технической готовности парка составляет 0,86, а коэффициент выпуска 0,8.

Результаты расчетов резервного числа транспортных средств для трех значений уровня значимости (вариантов надежности транспортного обслуживания) приведены в таблице 3. По заданному выпуску на линию 21 единицы транспортных средств определен требуемый резерв парка. Получено: чтобы обеспечить выпуск на линию подвижного состава с вероятностью 0,99 необходим парк из 29 единиц, 0,96 – 28 единиц и 0,93 – 27 единиц. При этом число подвижного состава в резерве составит 8, 7 и 6 единиц соответственно. Коэффициент технической готовности при этом несколько увеличится за счет резерва, а коэффициент выпуска в свою очередь уменьшится.

Разработанная методика также позволяет рассчитать уровень надежности обслуживания для различного числа автомобилей в парке и таким образом определить условия перевозок,

которые гарантируют отсутствие претензий со стороны клиентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время в работах, посвященных решению задачи определения оптимальной структуры подвижного состава в соответствии с имеющимся транспортным спросом, не рассматривается актуальный вопрос резервирования парка для обеспечения необходимого уровня надежности транспортного процесса.

2. На практике методы нормирования надежности автотранспортных услуг не применяются, резервирование парка осуществляется экспериментальным путем.

В результате зачастую это обуславливает недостаточную надежность логистической системы, низкую согласованность во взаимодействии участников процесса доставки, сбои в работе автоперевозчиков, штрафы за невыполнение договорных обязательств перед заказчиком и за нарушения законодательства.

3. В настоящей работе представлена методика определения величины резерва транспортных средств, основанная на аппарате теории вероятностей и математической статистики.

Методика позволяет определить размер страхового запаса, обеспечивающий заданную надежность транспортной системы, которая может быть установлена с учетом особенностей соответствующего вида перевозок, а также на основе возможных убытков из-за

дефицита провозных возможностей и затрат, связанных с резервом транспортных средств и других факторов, связанных с конкретными условиями перевозочного процесса.

4. В результате обработки экспериментальных данных получено, что число транспортных средств, находящихся в техническом обслуживании и текущем ремонте, может быть описано статистической функцией гамма-распределения.

5. Практическая эффективность предложенной методики показана на примере приведенного решения задачи по данным реальной транспортной организации.

Направления дальнейших исследований

Разработка рекомендаций по определению критических значений вероятностей с учетом особенностей соответствующего вида перевозок, возможных убытков из-за дефицита провозных возможностей и затрат, связанных с резервом транспортных средств и других факторов, обусловленных конкретными условиями перевозочного процесса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фадеев А.И., Фомин Е.В. Определение оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования с учетом взаимного влияния маршрутов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. № 8 (139). С. 189–198.
2. Оптимизация численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городских агломераций: монография / Д.А. Дрючин, Т.В. Коновалова, Е.А. Лебедев, С.Л. Надирян, В.И. Рассоха; ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»; ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2024. 178 с.
3. Захаров Н.С., Ракитин В.А. Методика формирования парка грузовых автомобилей автотранспортного предприятия в зависимости от назначения и технико-эксплуатационных показателей транспортных средств // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3. С. 174–188.
4. Козин Е.С., Захаров Н.С., Панфилов А.А., Вохмин Д.М. Системы поддержки принятия решений на транспорте. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. 170 с. ISBN 978-5-9961-3106-8. EDN BZSJIL.
5. Рассоха В.И., Дрючин Д.А., Надирян С.Л. Оптимизация структуры парка безрельсовых транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, на основе результатов математического моделирования // International Journal of Advanced Studies. 2023. Том 13, № 3. С. 180–202. DOI: <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-3-180-202>
6. Ракитин В.А. Анализ методик формирования рациональной структуры парка грузовых автомобилей // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 149. EDN VIDVEN.
7. Курганов В.М., Грязнов М.В. Как повысить КТГ автопарка // Мир транспорта. 2011. № 3. С. 106–117.
8. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes // Journal of Mining Institute. 2020. Vol. 241. P. 10–21. DOI: <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.10>. EDN EUEOIJ.
9. Кирюшин И.Н., Ретюньских В.Н. К вопросу изучения связи коэффициента технической готовности автомобилей с эксплуатационным циклом // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 2(42). С. 112–116.
10. Raposo Hugo & Farinha, José & Ferreira, L.A.A. & Galar, Diego. (2018). Dimensioning reserve bus fleet using life cycle cost models and condition based/predictive maintenance: a case study. Public Transport. 10. 10.1007/s12469-017-0167-x.
11. Raposo Hugo & Farinha, José & Ferreira, Luis & Galar, Diego. (2019). RESERVE FLEET INDEXED TO EXOGENOUS COST VARIABLES. Transport. 34. 437–454. 10.3846/transport.2019.11079.
12. Raposo H. Farinha J. T. Ferreira L. and Galar D. An integrated econometric model for bus replacement and determination of reserve fleet size based on predictivemaintenance, Eksploatacja i Niezawodnoś'r'c, vol. 19, no. 3. pp. 358–368, 2017.
13. Иванов А.Ю., Панов С.А. Модели резервирования подвижного состава в транспортно-логистических системах // Экономика и математические методы. 2013. Т. 49. Выпуск № 2 С. 87–96.
14. Дорофеев А.Н., Курганов В.М., Король А.А. [и др.] Оценка надежности автомобильного перевозчика в цифровой транспортной платформе // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 2-2(85). С. 115–122. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-115-122. EDN IZUSNX.
15. Guedes P. C. and Borenstein D. “Real-time multi-depot vehicle type rescheduling problem,” Transportation Research Part B: Methodological. 2018. vol. 108. pp. 217–234.
16. Raposo Hugo & Farinha, José & de Almeida-e-Pais, J. Edmundo & Galar, Diego. An Integrated Model for Dimensioning the Reserve Fleet based on the Maintenance Policy. Wseas transactions on systems and control. 2021. 16. 43-65. 10.37394/23203.2021.16.3.
17. Myronenko V, Samsonkin V, Rudkovskiy S. Mathematical Model of Rationale for Reserve Fleet of Vehicles with Uneven Demand for Transportation // American Journal of Engineering Research (AJER). 2018. Volume-5, Issue-5, 2018, pp 238–244.
18. Hou Bowen & Zhao, Shuzhi & Liu, Huasheng & Li, Jin. Optimization Model for Reserve Fleet Sizes in Traditional Transit Systems considering the Risk of Vehicle Breakdowns. Mathematical Problems in Engineering. 2018. 1–10. 10.1155/2018/1609238.

19. Kovtsur E. (2014). Reservation of transporting capacities of freight transport fleet due to the quantitative increase of fleet freight capacity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5. 29. 10.15587/1729-4061.2014.27630.

20. Klosterhalfen, Steffen & Kallrath, Josef & Fischer, Gerd. Rail car fleet design: Optimization of structure and size. *International Journal of Production Economics*. 2013. 157. 10.1016/j.ijpe.2013.05.008.

21. Менухова Т.А. Унификация понятий «Коэффициент технической готовности», «Коэффициент выпуска» и «Коэффициент использования автомобилей» с учетом применения новых временных показателей // *Транспортное дело России*. 2013. С. 89–94.

22. Долгов А. П. Теория запасов и логистический менеджмент: методология системной интеграции и принятия эффективных решений. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2004. 272 с.

23. Barros, Júlio & Cortez, Paulo & Carvalho, M. A systematic literature review about dimensioning safety stock under uncertainties and risks in the procurement process. *Operations Research Perspectives*. 2021. 8. 100192. 10.1016/j.orp.2021.100192.

24. Скочинская В. А. Методы расчета объема страхового запаса с учетом значимости материальных ресурсов // *Вестник БНТУ*. № 5. 2007. С. 52–57.

25. Скворода Е.В. Методический подход к проектированию стратегии управления производственными запасами на промышленных предприятиях // *Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление*. 2017. № 2(202). С. 104–108. EDN LAEPIP.

REFERENCES

1. Fadeev A.I., Fomin E.V. Determination of the optimal structure of urban public transport rolling stock taking into account mutual influence of routes. *Proceedings of Irkutsk State Technical University» (Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018; 8 (139); 189–198. (in Russ.)

2. Dryuchin D.A., Konovalova T.V., Lebedev E.A., Nadiryan S.L., Rassokha V.I. Optimization of the number of vehicles serving regular routes of urban agglomerations: monograph ; FGBOU HE «Orenburg State University»; FGBOU HE «Kuban State Technological University». Krasnodar: Publishing House – Yug 2024; 178. (In Russ.)

3. Zaharov N.S., Rakitin V.A. The methodology of forming a fleet of trucks of a motor transport company depending on the purpose of technical and operational indicators of vehicles. *Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*. 2015; Vol. 3: 174–188. (In Russ.)

4. Kozin Ye.S., Zakharov N.S., Panfilov A.A., Vokhmin D.M. Decision support systems for transportation. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2023: 170. ISBN 978-5-9961-3106-8. EDN BZSJIL (In Russ.)

5. Rassokha V.I., Dryuchin D.A., Nadiryan S.L. Optimization of the structure of the fleet of trackless vehicles serving urban passenger routes based on the results of mathematical modeling. *International Journal of Advanced Studies*. 2023; 13,

no. 3: 180–202. DOI: <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-3-180-202>

6. Rakitin V.A. Development of a technique forming a rational structure of the truck fleet. *Modern problems of science and education*. 2015; 1-1: 149–157. (in Russ.)

7. Kurganov V.M., Griaznov M.V. How to Increase Technical Availability Rate for Vehicle Fleet? *World of Transport and Transportation Journal*. 2011; Vol. 36, No 3: 106–117. (in Russ.)

8. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes // *Journal of Mining Institute*. 2020; Vol. 241: 10–21. DOI: <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.10>. EDN EUEOIJ.

9. Kiryushin I.N. To the question of examining the relationship of the coefficient of technical readiness of vehicles operating cycle. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2019; 2(42): 112–116. (in Russ.)

10. Raposo Hugo & Farinha, José & Ferreira, L.A.A. & Galar, Diego. Dimensioning reserve bus fleet using life cycle cost models and condition based/predictive maintenance: a case study. *Public Transport*. 2018; 10. 10.1007/s12469-017-0167-x.

11. Raposo Hugo & Farinha, José & Ferreira, Luis & Galar, Diego. Reserve fleet indexed to exogenous cost variables. *Transport*. 2019; 34. 437–454. 10.3846/transport.2019.11079.

12. Raposo H. Farinha J. T. Ferreira L. and Galar D. An integrated econometric model for bus replacement and determination of reserve fleet size based on predictivemaintenance. *Eksplotacja i Niezawodnosć*. 2017; vol. 19, no. 3: 358–368, 2017. (in Russ.)

13. Ivanov A.Yu., Panov S.A. Models of Rolling Stock Reservation in Transportation Logistics Systems. *Economics and mathematical methods*. 2013; V. 49. Vol. no 2: 87–96. (in Russ.)

14. Dorofeev A.N. Kurganov V. M., Kohli A. A. Assessment of the reliability of an automobile carrier in a digital transport platform. *The world of transport and technological machines*. 2024; 2-2(85): 115–122. DOI: [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-2-2\(85\)-115-122](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-115-122). EDN IZUSNX.

15. Guedes P.C. and Borenstein D. “Real-time-multi-depot vehicle type rescheduling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2018; vol. 108: 217–234, 2018.

16. Raposo Hugo & Farinha, José & de-Almeida-Pais, J. Edmundo & Galar, Diego. An Integrated Model for Dimensioning the Reserve Fleet based on the Maintenance Policy. *Wseas transactions on systems and control*. 2021; 16: 43–65. 10.37394/23203.2021.16.3.

17. Myronenko V, Samsonkin V, Rudkovskiy S. Mathematical Model of Rationale for Reserve Fleet of Vehicles with Uneven Demand for Transportation. *American Journal of Engineering Research (AJER)*. 2018; Volume-5, Issue-5: 238–244.

18. Hou Bowen & Zhao, Shuzhi & Liu, Huasheng & Li, Jin. Optimization Model for Reserve Fleet Sizes in Traditional Transit Systems considering the Risk of

Vehicle Breakdowns. *Mathematical Problems in Engineering*. 2018. 1–10. 10.1155/2018/1609238.

19. Kovtsur E. Reservation of transporting capacities of freight transport fleet due to the quantitative increase of fleet freight capacity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014; 5. 29. 10.15587/1729-4061.2014.27630.

20. Klosterhalfen, Steffen & Kallrath, Josef & Fischer, Gerd. Rail car fleet design: Optimization of structure and size. *International Journal of Production Economics*. 2013; 157. 10.1016/j.ijpe.2013.05.008.

21. Menukhova T.A. Unification of the concepts "Coefficient of technical readiness", "Coefficient of output" and "Coefficient of vehicle utilization" taking into account the application of new time indicators. *Transport Business of Russia*. 2013; 89–94. (in Russ.)

22. Dolgov A. P. *Stock Theory and Logistics Management: Methodology of System Integration and Effective Decision Making*. St. Petersburg: Izd-vo SPb-GUEF, 2004: 272. (in Russ.)

23. Barros, Júlio & Cortez, Paulo & Carvalho, M. A systematic literature review about dimensioning safety stock under uncertainties and risks in the procurement process. *Operations Research Perspectives*. 2021; 8. 100192. 10.1016/j.orp.2021.100192.

24. Skochinskaya V.A. Methods for calculation of reserve stock volume taking into account significance of material resources. *Science & Technique*. 2007; (5): 52–57. (In Russ.)

25. Skovoroda E.V. A methodical approach to designing a strategy for managing production stocks at industrial enterprises. *Proceedings of BSTU. Series 5: Economics and Management*. 2017; 2(202): 104–108. EDN LAEPIP (In Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Фадеев А.И. Постановка задачи, разработка математической модели, анализ результатов, формулирование заключения.

Ильянков А.М. Участие в подготовке исходных данных и расчетах, обзор литературных источников.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Fadeev A.I. Setting the problem, developing a mathematical model, analyzing the results, formulating the conclusion.

Ilyankov A.M. Participation in initial data preparation and calculations, review of literature sources.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фадеев Александр Иванович – д-р техн. наук, проф. кафедры транспорта Сибирского федерального университета (660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д.26).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6581-7087>,

Scopus ID: 57208356151,

SPIN-код: 1304-7849,

e-mail: 9135335784@mail.ru

Ильянков Алексей Михайлович – аспирант кафедры транспорта Сибирского федерального университета (660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д.26).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0924-9934>,

e-mail: ilyankov3322@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander I. Fadeev – Dr. of Sci (Eng.), Professor, Transport Department, Siberian Federal University (26, Academician Kirenskiy Street, Krasnoyarsk, 660074).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6581-7087>,

Scopus ID: 57208356151,

SPIN code: 1304-7849,

e-mail: 9135335784@mail.ru

Alexey M. Ilyankov – Postgraduate student, Transport Department, Siberian Federal University (26, Academician Kirenskiy Street, Krasnoyarsk, 660074).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0924-9934>,

e-mail: ilyankov3322@mail.ru