

Р.Ф. Шаихов

Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь, Россия

**АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ КОРОБОК ОТБОРА
МОЩНОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Рассмотрены показатели надежности коробок отбора мощности грузовых автомобилей. Парк исследуемого предприятия состоит преимущественно из грузовых автомобилей и спецтехники, поэтому автор выбрал объектом исследования специальные грузовые автомобили на базе шасси КамАЗ, оснащенные навесным оборудованием. Привод навесного оборудования осуществляется коробками отбора мощности, при их отказе эксплуатация автомобилей становится невозможна. Автор представил информацию по доремонтному ресурсу коробок отбора мощности автомобилей, задействованных при строительных работах на территории Пермского края. Построен ряд статистической исходной информации по доремонтным ресурсам коробок отбора мощности, определено количество интервалов, на которых рассчитываются показатели надежности и их величина. Определена частота появления отказов на каждом интервале, рассчитана опытная вероятность появления показателя надежности в каждом интервале и накопленная опытная вероятность. У многих показателей надежности автомобилей, например средней наработки на отказ, начало рассеивания не совпадает с нулевым значением, не являются исключением грузовые автомобили, поэтому автор определил значение смещения интервала статистического ряда $t_{см} = 3799,5$ мото-ч. Одной из важнейших характеристик надежности является средняя наработка до исчерпания ресурса, у коробки отбора мощности она равна 4700 мото-ч. Рассчитана важная характеристика показателя надежности – рассеивание, обычно рассеивание определяют по величине дисперсии, однако применять значение дисперсии не всегда удобно из-за больших значений и размерности, поэтому автор использует среднее квадратическое отклонение, которое равно 1049 мото-ч. Выполнен поиск точек среди рассчитанных значений на предмет выпадения из ряда, представлены гистограммы показателей надежности. Рассчитан коэффициент вариации, характеризующий рассеивание показателя надежности, он равен 1,16, выбран теоретический закон распределения – Вейбулла, установлены его параметры. Для определения количества потерявших работоспособность машин, или, что то же самое, количества ремонтных воздействий, автор установил вид интегральной и дифференциальной функций, осуществил графическое построение гистограмм и кривой накопленных опытных вероятностей.

Ключевые слова: надежность, прогноз остаточного ресурса, грузовой автомобиль, коробка отбора мощности.

R.F. Shaihov

Perm State Agrotechnological University, Perm, Russian Federation

**ANALYSIS OF RELIABILITY INDICATORS
OF TRUCKS' POWER TAKEOFFS**

In the article the analysis of reliability indicators of trucks' power takeoffs is discussed. The fleet of the enterprise under study consists mainly of trucks and special equipment, so special trucks based on the KAMAZ chassis equipped with attachments are chosen as the object of study. Attachments are driven by power takeoffs; when they fail, the operation of cars becomes impossible. The information on the pre-repair resource of power takeoffs for vehicles engaged in construction work in the Perm Territory is provided. Statistical initial information was collected on the pre-repair resources of power takeoffs, the number of intervals was determined at which the reliability indicators and their value are calculated. The frequency of occurrence of failures at each interval is determined, the experimental probability of occurrence of a reliability indicator in each interval and the accumulated experimental probability are calculated. For many indicators of vehicle reliability, for example, the mean time between failures, the start of dispersion does not coincide with a zero value, trucks are no exception, therefore the value of the shift of the interval of the statistical series (t_{cm}) was determined, which is 3799.5 motor hours. One of the most important characteristics of reliability is the average operating time until the resource is exhausted; at the power takeoff, it is 4700 moto-h. An important characteristic of the reliability indicator is calculated – dispersion, which is usually determined by the dispersion value, however, using the dispersion value is not always convenient because of the large values and dimensions, therefore, the standard deviation was used, which is 1049 motor hours. A search was made for points among the calculated values to determine those falling out of the series, histograms of reliability indicators are presented. A coefficient of variation is calculated, which characterizes the dispersion of the reliability index, it is 1.16, the theoretical distribution Weibull law was selected, its parameters were determined. To determine the number of machines that have lost their working capacity or, equivalently, the number of repair actions, the type of integral and differential functions was determined, histograms and the curve of accumulated experimental probabilities graphically plotted.

Keywords: reliability, forecast of residual life, truck, power takeoff.

Надежность современных отечественных автомобилей, а также их узлов и агрегатов остается на невысоком уровне. По оценке экспертов, затраты на техническое обслуживание (ТО) и ремонт отечественного автомобиля составляют 300–500 % от его первоначальной стоимости, что в 3–4 раза выше, чем в развитых странах [1, 2]. Данный факт является следствием несоблюдения технологий ТО и ремонта, отсутствия необходимого оборудования, оснастки и инструмента, а также продолжительных простоев в ремонте, преимущественно из-за отсутствия запасных частей. Среди отечественных грузовых автомобилей наибольшее распространение получили автомобили на базе шасси КамАЗ. Несмотря на сложную экономическую ситуацию, производство КамАЗов в последние годы увеличивается; так, в 2015 г. произведено 28 тыс., в 2017 г. – 36 тыс., в 2018 г. прогнозируется не менее 40 тыс. единиц [3].

Исследования проводились на базе предприятия ООО «Лысьвенское дорожно-строительное управление» (ЛДСУ). Основным видом деятельности предприятия является строительство и содержание автомобильных дорог на территории Пермского края, а также транспортировка строительных материалов. Парк ЛДСУ состоит из 127 единиц подвижного состава, в том числе грузовых (общего назначения, специализированные и специальные), легковых автомобилей, автобусов и специальной техники. Объектом исследования являются специальные грузовые автомобили предприятия на базе шасси КамАЗ в количестве 30 единиц, оснащенные навесным оборудованием. Привод навесного оборудования осуществляется коробками отбора мощности (КОМ), при их отказе эксплуатация автомобилей становится невозможна.

При выполнении строительных работ автомобили эксплуатируются в тяжелых условиях, что закономерно приводит к большему количеству отказов [4–5]. Учитывая сезонный характер строительных работ, любые простои техники в ремонте приводят к значительной потере прибыли предприятия. Также необходимо принимать во внимание недостаточную материально-техническую базу предприятий и неквалифицированный персонал. Проблемы, связанные с нарушением технологической дисциплины при ТО и ТР, недостаточной мотивацией и компетентностью персонала, подробно рассмотрены в работах [6, 7], проблемы качества выпускников средних и высших учебных заведений – в работе [8].

Уменьшить продолжительность простоев в ремонте можно с помощью расчета остаточного ресурса и прогнозирования отказов [9, 10].

Целью работы является определение основных показателей надежности коробок отбора мощности специальных автомобилей.

На предприятии собрана информация о доремонтных ресурсах КОМ (табл. 1).

Таблица 1

Информация о доремонтных ресурсах коробок отбора мощности

Номер коробки отбора мощности	Доремонтный ресурс (мото-ч)	Номер коробки отбора мощности	Доремонтный ресурс (мото-ч)
1	4012	21	5550
2	4046	22	5551
3	4074	23	5569
4	4215	24	5580
5	4326	25	5609
6	4449	26	5687
7	4478	27	5752
8	4534	28	5780
9	4587	29	5802
10	4616	30	5890
11	4680	31	6048
12	4735	32	6137
13	4797	33	6311
14	4809	34	6510
15	4931	35	6520

Окончание табл. 1

Номер коробки отбора мощности	Доремонтный ресурс (мото-ч)	Номер коробки отбора мощности	Доремонтный ресурс (мото-ч)
16	5090	36	6533
17	5148	37	6725
18	5231	38	6729
19	5272	39	6840
20	5478	40	6986

Последовательность обработки информации о доремонтных ресурсах КОМ следующая [11]:

1. Определение исходных данных и смещения начала рассеивания t_{CM} .
2. Расчет среднего доремонтного ресурса коробок отбора мощности \bar{t} и стандартного разброса (отклонения) σ .
3. Поиск точек, выпадающих из статистического ряда исходных данных.
4. Построение гистограммы опытных вероятностей в заданных интервалах.
5. Расчет коэффициента вариации V .
6. Выбор теоретического закона распределения (ТЗР), определение его параметров и графическое построение интегральной $F(t)$ и дифференциальной $f(t)$ функций.

В данном случае для исследований представлено 40 значений показателя надежности – доремонтного ресурса коробок отбора мощности. Целесообразно разбить статистический ряд на отдельные интервалы, их количество рассчитывается по формуле [12]

$$n = \sqrt{N}. \tag{1}$$

Количество интервалов принимают в пределах от шести до двадцати. При анализе доремонтных ресурсов коробок отбора мощности (табл. 1):

$$n = \sqrt{40} = 7 \text{ интервалов.}$$

Интервалы принимают равными и без разрывов, размер каждого интервала A определим по формуле [13]

$$A = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{n}, \tag{2}$$

где t_{\max} и t_{\min} – соответственно наибольший и наименьший доремонтный ресурс коробок отбора мощности.

Для коробок отбора мощности (КОМ) (см. табл. 1): $t_{\max} = 6986$ мото-ч, $t_{\min} = 4012$ мото-ч, тогда

$$A = \frac{6986 - 4012}{7} \approx 425 \text{ мото-ч.}$$

Статистический ряд информации представлен в табл. 2, он включает следующие показатели:

- 1) размеры интервалов в тысячах мото-ч доремонтного ресурса (с округлением до сотых);
- 2) частота (m_i) появления доремонтного ресурса конкретной коробки отбора мощности в каждом интервале, на пятом и шестом интервалах числа дробные (+0,5), так как одно значение доремонтного ресурса находится на границе интервалов;
- 3) опытная вероятность (P_i), демонстрирующая распределение доремонтных ресурсов коробок по интервалам в долях единицы;
- 4) суммарная опытная вероятность $\sum P_i$.

Опытную вероятность P_i можно рассчитать по формуле [14]

$$P_i = \frac{m}{N}. \tag{3}$$

Статистический ряд исходной информации

Интервалы (тыс. мото-ч)	4,01–4,43	4,43–4,86	4,86–5,29	5,29–5,71	5,71–6,14	6,14–6,56	6,56–6,99
Частота m_i	5	9	5	7	5,5	4,5	4
Опытная вероятность P_i	0,125	0,225	0,125	0,175	0,138	0,112	0,1
$\sum P_i$	0,125	0,35	0,475	0,65	0,788	0,9	1

Величина смещения интервала $t_{см}$ рассчитывается по формуле [11]

$$t_{см} = t_{\min} - 0,5A, \quad (4)$$

тогда

$$t_{см} = 4012 - 0,5 \cdot 425 = 3799,5.$$

Среднее значение доремонтного ресурса коробок отбора мощности \bar{t} является важной характеристикой при планировании работы автомобилей, составлении заявок на запасные части, определении объема ремонтных работ и т.д.

$$\bar{t} = \sum_i^n t_{ic} \cdot P_i, \quad (5)$$

где t_{ic} – значение середины i -го интервала;

$$\begin{aligned} \bar{t} = & 4224,5 \cdot 0,125 + 4649,5 \cdot 0,225 + 5074,5 \cdot 0,125 + 5499,5 \cdot 0,175 + \\ & + 5924,5 \cdot 0,138 + 6349,5 \cdot 0,112 + 6774 \cdot 0,1 \cong 4700. \end{aligned}$$

Среднее квадратичное отклонение [15]

$$\sigma = \sqrt{\sum_i^n (t_{ic} - \bar{t})^2 \cdot P_i}, \quad (6)$$

тогда для коробок отбора мощности $\sigma = 1049$ мото-ч.

Для проверки опытной информации необходимо установить, все ли данные попадают в интервал $\bar{t} \pm 3\sigma$.

Нижняя граница диапазона $4700 - 3 \cdot 1049 = 1553$ мото-ч, верхняя граница диапазона $4700 + 3 \cdot 1049 = 7847$ мото-ч. Таким образом, все точки являются значимыми.

Опытное распределение показателей надежности представлено на рис. 1. Из гистограммы видно, что наибольшее количество машин имеет доремонтный ресурс КОМ в интервале 4430–4860 мото-ч, что подтверждается величиной среднего значения показателя надежности, равного 4700 мото-ч.

Коэффициент вариации с учетом смещения $t_{см}$ рассчитывается по формуле [15]

$$V = \frac{\sigma}{\bar{t} - t_{см}}, \quad (7)$$

тогда

$$V = \frac{1049}{4700 - 3799,5} = 1,16.$$

Коэффициент вариации $V > 0,5$, поэтому необходимо выбрать закон распределения Вейбулла. Из справочных данных при $V = 1,16$ коэффициенты $b = 0,86$, $Kb = 1,08$, $Cb = 1,261$, $a = 833$.

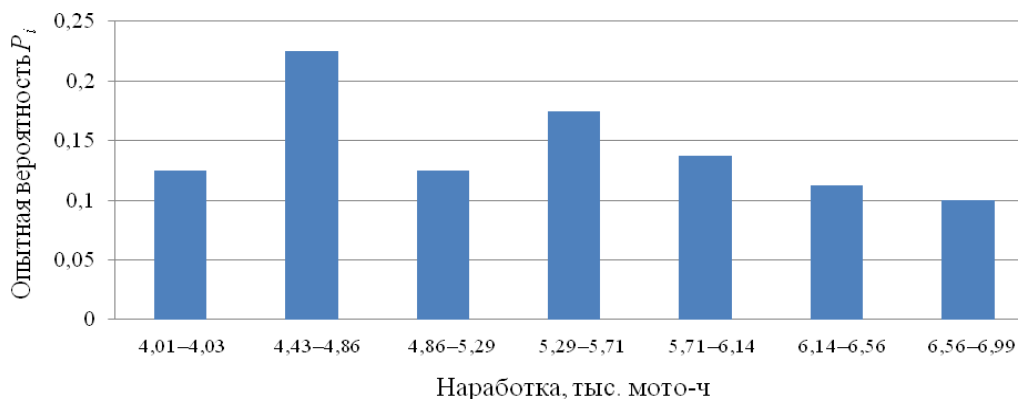


Рис. 1. Гистограмма распределения

Определить интегральную функцию $F(t)$ можно по справочным таблицам, а значение дифференциальной функции по формуле [6]:

$$f(t_{ic}) = F(t_{ik}) - F(t_{in}), \quad (8)$$

где t_{ic} , t_{ik} , и t_{in} — значения показателя надежности соответственно в середине, в конце и начале i -го интервала.

Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сводная таблица опытных и теоретических распределений доремонтных ресурсов КОМ

Интервал, тыс. мото-ч	Опытная вероятность P_i	Дифференциальная функция $f(t)$	$\sum P_i$	Интегральная функция $F(t)$
4,01–4,43	0,125	0,29	0,125	0,29
4,43–4,86	0,225	0,27	0,35	0,56
4,86–5,29	0,125	0,16	0,475	0,72
5,29–5,71	0,175	0,1	0,65	0,82
5,71–6,14	0,138	0,06	0,788	0,88
6,14–6,56	0,112	0,04	0,9	0,92
6,56–6,99	0,1	0,02	1	0,94

Анализ данных табл. 3 и графиков (рис. 2) позволяют сделать следующие выводы:

1. Экспериментальные данные не совпадают с теоретическими функциями, поэтому необходимо сглаживание за счет теоретического закона распределения.

2. При значении коэффициента вариации, существенно превышающем 0,5, целесообразно использовать закон распределения Вейбулла.

3. Для достаточной повторности информации для построения интегральной кривой закона распределения Вейбулла достаточно 6–7 точек (рис. 3).

В результате исследования:

1) построен ряд статистической исходной информации по доремонтным ресурсам коробок отбора мощности, определена величина смещения интервала $t_{см} = 3799,5$ мото-ч;

2) определено среднее значение доремонтного ресурса коробок отбора мощности $t = 4700$ мото-ч, при $\sigma = 1049$ мото-ч;

3) доказано отсутствие выпадающих точек, построены гистограммы, дифференциальная кривая распределения по закону Вейбулла, кривая $\sum P_i$;

4) рассчитан коэффициент вариации $V = 1,16$, поэтому целесообразно применить теоретический закон распределения Вейбулла.

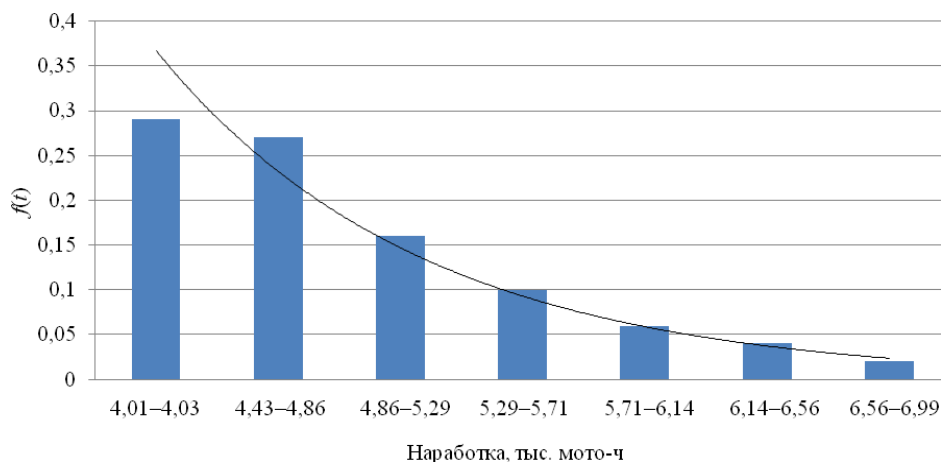


Рис. 2. Гистограмма и дифференциальная кривая распределения по закону Вейбулла

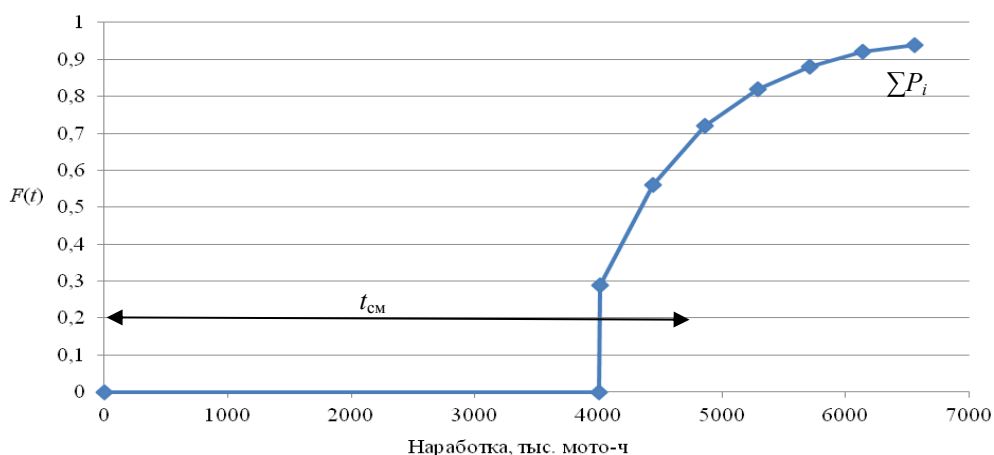


Рис. 3. Кривая накопленных опытных вероятностей $\sum P_i$

Список литературы

1. Шаихов Р.Ф. Определение остаточного ресурса деталей навесного оборудования специальных автомобилей // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 3. – С. 83–88.
2. Мальцев Д.В., Пестриков С.А. Определение оптимальной периодичности технического обслуживания автобусов // Мир транспорта. – 2018. – № 2 (75). – С. 96–105.
3. КамАЗ. Итоги 2017. Ожидания 2018. – URL: <https://st-kt.ru/articles/kamaz-itogi-2017-ozhidaniya-2018> [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.11 2018).
4. Мальцев Д.В. Анализ причин малой наработки на отказ турбокомпрессоров при эксплуатации в условиях карьеров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика / Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г.Ф. Морозова. – Воронеж, 2016. – Т. 4, № 5–4 (25–4). – С. 267–271.
5. Шаихов Р.Ф. Особенности эксплуатации автомобилей с турбокомпрессорами в условиях карьеров // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 2. – С. 73–79.
6. Боговеев Р.А., Мальцев Д.В., Генсон Е.М. Оценка квалификации производственного персонала на предприятиях агропромышленного комплекса // Актуальные вопросы применения инженерной науки: материалы Междунар. студ. науч.-практ. конф.
7. Шаихов Р.Ф. Контроль производственного персонала на автотранспортном предприятии // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 3. – С. 89–95
8. Мальцев Д.В., Генсон Е.М., Репецкий Д.С. Электронные учебные пособия для прикладного бакалавриата // Высшее образование в России. – 2019. – № 4. – С. 134–141.

9. Мальцев Д.В. Совершенствование организации перевозочного процесса твердых бытовых отходов автомобильным транспортом: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Орел, 2016. – 142 с.
10. Мальцев Д.В., Генсон Е.М. Повышение эффективности эксплуатации кузовных мусоровозов: монография / М-во с.-х. РФ, ПГАТУ им. Д.Н. Прянишникова. – Пермь: ИПЦ «ПрокростЪ», 2019. – 144 с.
11. Селиванов А.И., Артемьев Ю.Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1978. – 248 с.
12. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин на прочность и надежность / под ред. П.М. Волкова, М.М. Тененбаума. – М.: Машиностроение, 1977. – 310 с.
13. Острейковский В.А. Теория надежности: учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
14. Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытаний опытных образцов. – М.: Машиностроение, 2003. – 320 с.
15. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. – М.: Высшее образование, 2008. – 479 с.

References

1. Shaikhov R.F. Opredelenie ostatochnogo resursa detalei navesnogo oborudovaniia spetsial'nykh avtomobilei [Determination of the residual life of parts of attachments of special vehicles] *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2019, №3, pp. 83-88.
2. Mal'tsev D.V., Pestrikov S.A. Opredelenie optimal'noi periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniia avtobusov [Determination of the optimal frequency of bus maintenance]. *Mir transporta*, 2018, no. 2 (75), pp. 96-105
3. KAMAZ. Itogi 2017. Ozhidaniia 2018, available at: <https://st-kt.ru/articles/kamaz-itogi-2017-ozhidaniya-2018> (accessed 20 November 2018).
4. Mal'tsev D.V. Analiz prichin maloi narabotki na otkaz turbokompressorov pri ekspluatatsii v usloviakh kar'erov [Analysis of the reasons for the small time between failures of turbocompressors during operation in quarries]. *Aktual'nye napravleniia nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriia i praktika*. 2016, t.4, no. 5-4 (25-4), pp. 267-271.
5. Shaikhov R.F. Osobennosti ekspluatatsii avtomobilei s turbokompressorami v usloviakh kar'erov [Features of operation of cars with turbochargers in quarry conditions] *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2019, №2, pp. 73-79.
6. Bogoveev R.A., Mal'tsev D.V., Genson E.M. Otsenka kvalifikatsii proizvodstvennogo personala na predpriiatiakh agropromyshlennogo kompleksa [Qualification assessment of production personnel at the enterprises of the agro-industrial complex] *Aktual'nye voprosy primeneniia inzhenernoi nauki: materialy Mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf. Riazanskii gosudarstvennyi agrotekhnologicheskii universitet im. P.A. Kostycheva*, 2019, pp. 110-115.
7. Shaikhov R.F. Kontrol' proizvodstvennogo personala na avtotransportnom predpriatii [Control of production personnel at a motor transport enterprise] *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2019, №3, pp. 89-95.
8. Mal'tsev D.V., Genson E.M., Repetskii D.S. Elektronnye uchebnye posobiia dlia prikladnogo bakalavriata [Electronic textbooks for applied baccalaureate] *Vysshee obrazovanie v Rossii*, 2019, no. 4, pp. 134-141.
9. Mal'tsev D.V. Sovershenstvovanie organizatsii perevozochnogo protsessa tverdykh bytovykh otkhodov avtomobil'nyim transportom [Improving the organization of transportation process by motor transport of municipal solid waste] Ph. D. thesis. Orel, 2016, 142 p.
10. Mal'tsev D.V., Genson E.M. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii kuzovnykh musorovozov [Improving the performance of body garbage trucks] Monografiia. Perm', Izd-vo "Prokrost", 2019, 144 p.
11. Selivanov A.I., Artem'ev Iu.N. Teoreticheskie osnovy remonta i nadezhnosti sel'skokhoziaistvennoi tekhniki [Theoretical bases of repair and reliability of agricultural machinery] Moscow, Izd-vo «Kolos», 1978, 248 p.
12. Osnovy teorii i rascheta sel'skokhoziaistvennykh mashin na prochnost' i nadezhnost' [Fundamentals of the theory and calculation of agricultural machines for durability and reliability] Ed. P.M. Volkova, M.M. Tenenbauma. Moscow, Mashinostroenie, 1977, 310 p.
13. Ostreikovskii V.A. Teoriia nadezhnosti: uchebnik dlia vuzov [Reliability Theory: A Textbook for High Schools]. Moscow, Vyssh. shk., 2003, 463 p.
14. Trukhanov V.M. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem tipa podviznykh ustanovok na etape proektirovaniia i ispytaniy opytnykh obraztsov [Reliability of technical systems such as mobile units at the stage of designing and testing prototypes] Moscow. Mashinostroenie, 2003, 320 p.
15. Gmurman V.E. Teoriia veroiatnostei i matematicheskaia statistika [Theory of probability and mathematical statistics] *Uchebnoe posobie. Vysshee obrazovanie*. 2008, 479 p.

Получено 05.09.2019

Об авторе

Шаихов Ринат Фидарисович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис и ремонт машин» Пермского государственного аграрно-технологического университета (614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23, e-mail: shr84@list.ru).

About the author

Rinat F. Shaihov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Service and Repair of Cars, Perm State Agro-Technological University (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: shr84@list.ru).