

УДК 621.8-1/9

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-25-30

## Некоторые особенности расчета долговечности узлов и деталей машин

**М. Ю. Карелина**, доктор технических наук, доктор педагогических наук, профессор, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

**И. В. Костюк**, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

**Т. Ю. Черепнина**, кандидат исторических наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

**В. Р. Рогов**, кандидат технических наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

*Практика деятельности автотранспортных предприятий показывает, что в зависимости от характера производимых работ, как правило, существует не только обязательный приоритет нескольких критериев, например, при выборе автомобиля, но и необходимость получать дифференцируемые значения коэффициентов относительной важности по заданному уровню эффективности. Например, когда необходимо учитывать ряд свойств одновременно, каждое из которых определяется комплексом собственных показателей, и при этом требуется оптимизировать процесс их реализации. В этом случае необходимо получить сбалансированные значения коэффициентов относительной важности в соответствии с целями поставленных задач. Научный подход к решению данной задачи диктует необходимость принимать решение не по одному, а сразу по нескольким показателям эффективности.*

*Особое внимание уделено расчетной оценке функции распределения долговечности на стадии проектирования и доводки опытного образца. Обоснована перспектива метода Монте-Карло, большим преимуществом которого является возможность наиболее полно учитывать рассеяние всех случайных величин в блоке нагружения, влияющих на функцию распределения долговечности. Приведен пример расчета функции распределения долговечности детали при переменных нагрузках в различных режимах эксплуатации. Расчетные данные, полученные по предлагаемому в работе методу, подтверждаются экспериментально, что позволяет рассматривать возможность применения метода для оценки вероятности разрушения механических систем.*

*Универсальность метода определяет область его применения для различных узлов и деталей машин (подшипники, зубчатые колеса, валы и др).*

**Ключевые слова:** долговечность деталей машин, усталостное разрушение, метод Монте-Карло, проектирование, ресурс.

**Введение**  
Важным показателем для обоснованного назначения гарантийного ресурса, планирования сроков проведения ремонта, разработки технологических и конструктивных мероприятий по повышению долговечности и надежности деталей и машины в целом является оценка функции распределения долговечности по критерию усталостного разрушения. Функция распределения долговечности выражает зависимость вероятности появления усталостной трещины (отказа) от наработки. В связи с этим необходимо иметь статистическую информацию об отказах. Такие данные могут быть получены в результате длительной эксплуатации многих машин данной серии или приняты на стадии проектирования и доводки опытного образца на основе вероятностных методов, позволяющих эмпирически оценивать функцию распределения долговечности и выявления фак-

торов, оказывающих наиболее сильное влияние на ресурс [1, 2]. Например, существующие системы контроля дорожно-строительных работ, кроме обеспечения надлежащего качества выполнения работ, генерируют статистические данные об отказах тех или иных узлов и деталей дорожно-строительной техники [3]. Разработаны и широко применяются апробированные алгоритмы мониторинга дорожно-строительной техники [4], включающего фиксацию данных о материале деталей, действующих нагрузках, условиях эксплуатации и других факторах [5, 6]. В настоящее время при проектировании применяются различные методики многофакторного подхода [7–10]. Зарубежные методики проектирования узлов и деталей включают в себя моделирование комбинированных нагрузок [11].

**Целью исследования** является обоснование преимуществ применения метода Монте-Карло

при проектировании узлов деталей автотранспортных средств.

### Применение метода Монте-Карло при проектировании

Одним из перспективных методов оценки функции распределения долговечности является метод Монте-Карло (метод статистических испытаний), большим преимуществом которого является возможность наиболее полно учесть рассеяние всех случайных величин в блоке нагружения, влияющих на функцию распределения долговечности [12]. В предлагаемом в работе методе не учитывается асимметричность нагрузок. Однако в перспективе, учитывая то обстоятельство, что большинство деталей работает в условиях асимметричных нагрузок, предметом исследования станет установление коэффициентов, корректирующих расчеты с учетом асимметричных нагрузок. Под блоком нагружения понимается совокупность последовательных значений переменных напряжений, возникающих в детали за определенный период эксплуатации, по отношению к которому вычисляется долговечность детали (ресурс). Принцип линейного суммирования поврежденных деталей применяется при нестандартных режимах нагружения. Для оценки числа блоков нагружения до появления усталостной трещины предложена скорректированная линейная гипотеза накопления усталостных повреждений:

$$\lambda = \frac{a_p \sigma_{-1d}^m N_G}{v_\delta \sum \sigma_{ai}^m t_i}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – число блоков нагружения до появления усталостной трещины;  $a_p$  – скорректированная величина суммы относительных долговечностей;  $\sigma_{-1d}$  – предел выносливости детали;  $N_G$  – параметры кривой усталости, записанной в виде

$$\sigma_{ai}^m N_i = \sigma_{-1d}^m N_G, \quad (2)$$

где  $m$  – показатель наклона кривой усталости;  $N_G$  – абсцисса точки перелома кривой усталости;  $\sigma_{ai}$  – амплитуда рабочих напряжений  $i$ -го уровня при условии, что блок нагружения задается в ступенчатой форме;  $N_i$  – число циклов по кривой усталости, соответствующее амплитуде  $\sigma_{ai}$  в блоке нагружения;  $t_i = v_{i\delta} / v_\delta$  – число циклов повторения амплитуды  $\sigma_{ai}$  в блоке нагружения;  $v_\delta = \sum v_{i\delta}$  – общее число циклов в блоке нагружения.

Величина  $a_p$  определяется по формуле

$$a_p = \frac{\sigma_{a\max} \zeta^{-0,5\sigma} - 1_d}{\sigma_{a\max} - 0,5\sigma_{-1d}}, \quad (3)$$

где

$$\zeta = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^r \frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a\max}} t_i; \quad (4)$$

$$A = \sum_{i=1}^r t_i; \quad (5)$$

$r$  – номер ступени в блоке нагружения такой, что  $\sigma_{a_{r+1}} < 0,5\sigma_{-1d}$ ,  $\sigma_{a_r} \geq 0,5\sigma_{-1d}$ .

При расчете по скорректированной линейной гипотезе предполагается, что величины  $\sigma_{-1d}$ ;  $\sigma_{a\max}$ ;  $m$ ;  $N_G$  – случайные величины, распределенные по нормальному закону со средним значением (математическим ожиданием)  $\bar{\sigma}_{-1d}$ ;  $\bar{\sigma}_{a\max}$ ;  $\bar{m}$ ;  $\bar{N}_G$  и стандартным отклонением (средним квадратическим отклонением)  $S_{\sigma_{-1d}}$ ;  $S_{\sigma_{a\max}}$ ;  $S_m$ ;  $S_{\lg N_G}$ . Остальные величины, входящие в формулу (1), принимаются детерминированными. Используя нормированную случайную величину  $\varepsilon$  с математическим ожиданием  $\bar{\varepsilon} = 0$  и средним квадратическим отклонением  $S_\varepsilon = 1$ , случайные значения величин  $\sigma_{-1d}$ ;  $\sigma_{a\max}$ ;  $m$ ;  $N_G$  можно определить из следующих соотношений:

$$\sigma_{-1d} = \bar{\sigma}_{-1d} + \varepsilon S_{\sigma_{-1d}}; \quad (6)$$

$$\sigma_{a\max} = \bar{\sigma}_{a\max} + \varepsilon S_{\sigma_{a\max}};$$

$$m = \bar{m} + \varepsilon S_m;$$

$$\lg N_G = \lg \bar{N}_G + \varepsilon S_{\lg N_G}.$$

Для экспериментального определения среднего значения  $\bar{\sigma}_{-1d}$  и стандартного отклонения  $S_{\sigma_{-1d}}$  предела выносливости детали необходимо проведение испытаний методом «лестницы», для чего требуется не менее 20 образцов, что на практике затруднительно. Поэтому для деталей величины  $\bar{\sigma}_{-1d}$  и  $S_{\sigma_{-1d}}$  указанные значения определяются расчетно-экспериментальным методом или расчетом по ГОСТ 25.504–82.

Оценку средних значений показателя наклона кривой усталости  $\bar{m}$  и логарифма абсциссы точки перелома кривой усталости  $\lg \bar{N}_G$  и их стандартных отклонений  $S_m$  и  $S_{\lg N_G}$  также про-

водят расчетом по ГОСТ 25.504–82. Обзор результатов экспериментальных исследований значительного количества материалов позволяет сделать вывод, что для широкого класса металлов среднее значение логарифма абсциссы точки перелома кривой усталости можно принять  $\lg \bar{N}_G = 2,4 \dots 6,3$ , стандартное отклонение абсциссы точки перелома кривой усталости –  $S_{\lg N_G} = 0,1$ , а для стандартного отклонения показателя наклона кривой усталости можно принять значение  $S_m = 0,1$ .

Среднее значение максимальной амплитуды в блоке нагружения  $\bar{\sigma}_{a \max}$  и ее стандартное отклонение  $S_{\delta_{a \max}}$  определяются путем неоднократного тензометрирования в одинаковых условиях эксплуатации с последующей статистической обработкой результатов тензометрирования.

При использовании метода Монте-Карло задается количество испытаний  $n$ , где  $n$  – любое заданное число не менее 20. В каждом из  $n$  испытаний выбираются четыре случайных и независимых значения  $\varepsilon$  и по выражениям (6) вычисляются значения случайных величин  $\sigma_{-1д}$ ;  $\sigma_{a \max}$ ;  $m$ ;  $N_G$ .

Если для  $i$ -го испытания ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )  $\sigma_{-1д} < \sigma_{a \max}$ , то при подстановке в (1) случайных величин (6) будет получено  $n$  случайных значений числа блоков нагружения до появления усталостной трещины  $\lambda$ . Далее проводится статистическая обработка полученного вариационного ряда значений  $\lambda$ , в результате которой получается функция распределения долговечности, выраженной числом блоков до разрушения  $\lambda$ , среднее значение  $\bar{\lambda}$  и среднее квадратическое отклонение  $S_\lambda$ .

В испытаниях, для которых  $\sigma_{-1д} \geq \sigma_{a \max}$ , значение числа блоков нагружения до появления усталостной трещины  $\lambda$  по формуле (1) не может быть подсчитано в соответствии с уравнением кривой усталости (2)  $\lambda \rightarrow \infty$ . В этом случае часть образцов имеет неограниченную долговечность. Поэтому выборка случайных значений  $\lambda$  является цензурированной справа. Для оценки функции распределения долговечности  $F(\lambda)$  по цензурированной выборке можно воспользоваться методом оценки параметров с помощью выражений для распределения  $k$ -го члена вариационного ряда [6]. В этом случае принимается, что функция распределения дол-

говечности  $F(\lambda)$  не противоречит логарифмически нормальному закону распределения.

Согласно данному способу параметры нормального распределения определяются на основании так называемых частных параметров усеченной выборки  $\lg \lambda_1, \lg \lambda_2, \dots, \lg \lambda_{k-1}$ , где  $\lg \lambda_{k-1}$  – последний член вариационного ряда, для которого  $\lambda_{k-1} \neq \infty$ .

$$\begin{aligned} \lg \bar{\lambda}_k &= \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k-1} \lg \lambda_i; \\ \bar{S}_k &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k-1} \lg \lambda_i - \lg \bar{\lambda}_k}{k-2}}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\lg \bar{\lambda}_k$  и  $\bar{S}_k$  – частное математическое ожидание и частное среднее квадратическое отклонение усеченной выборки соответственно.

На основании теории распределения  $k$ -го члена вариационного ряда параметры исходного (неусеченного) распределения

$$\begin{aligned} \lg \lambda &= \lg \bar{\lambda}_k + \bar{k}_r^a(p) \bar{S}; \\ \bar{S} &= \bar{S}_k \bar{k}_r, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\bar{k}_r^a(p)$  и  $\bar{k}_r^\sigma(p)$  – коэффициенты, зависящие от  $p$  – степени усечения выборки,  $p = \frac{k}{n}$ .

Графики функций  $\bar{k}_r^a(p)$  и  $\bar{k}_r^\sigma(p)$  показаны на рис. 1. Подбор значений  $\bar{k}_r^a(p)$  и  $\bar{k}_r^\sigma(p)$  осуществляется путем линейной интерполяции по функциям  $\bar{k}_r^a(p)$  и  $\bar{k}_r^\sigma(p)$ .

### Оценка результатов

Рассмотрим пример оценки функции распределения долговечности  $F(\lambda)$  на основании распределения  $k$ -го члена вариационного ряда (рис. 1).

Деталь подвергается воздействию переменной нагрузки. Форма блока нагружения показана в таблице.

Средние значения и их стандартные отклонения параметров кривой усталости детали:  $\bar{\sigma}_{-1д} = 232$  МПа;  $S_{\sigma_{-1д}} = 18,8$  МПа;  $\bar{N}_G = 3 \cdot 10^6$ ;  $\lg \bar{N}_G = 6,477$ ;  $S_{\lg N_G} = 0,32$ ;  $\bar{m} = 8,3$ ;  $S_m = 0,8$ . Общее число циклов за один год работы  $v_\delta = 57000$ .

Известно, что деталь может эксплуатироваться в трех режимах.

1.  $\sigma_{a \max} = 302$  МПа, предельный коэффициент нагруженности  $n_p = \frac{\sigma_{a \max}}{\bar{\sigma}_{-1д}} = 1,3$ .

2.  $\sigma_{a \max} = 278$  МПа,  $n_p = \frac{\sigma_{a \max}}{\bar{\sigma}_{-1д}} = 1,2$ .

3.  $\sigma_{a \max} = 255$  МПа,  $n_p = \frac{\sigma_{a \max}}{\bar{\sigma}_{-1д}} = 1,1$ .

Для всех трех режимов  $V_{\sigma_{a \max}} = \frac{S_{\delta_{a \max}}}{\sigma_{a \max}} = 0,1$ .

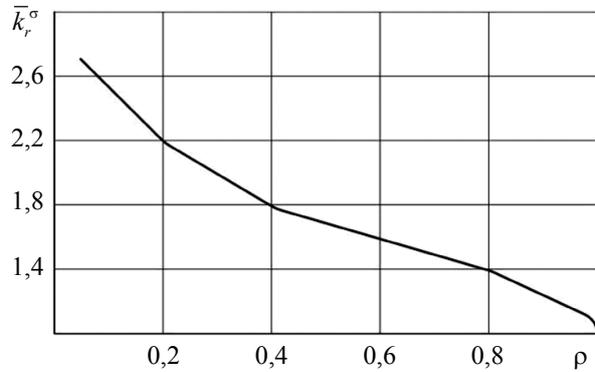
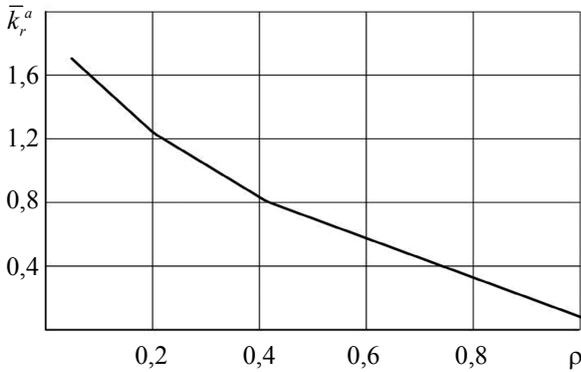


Рис. 1. Коэффициенты  $\bar{k}_r^a(p)$  и  $\bar{k}_r^\sigma(p)$  для определения параметров полной выборки

Fig. 1. Coefficients  $\bar{k}_r^a(p)$  and  $\bar{k}_r^\sigma(p)$  for determining the parameters of the full sample

**Форма блока нагружения**

**Loading block shape**

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{\sigma_a}{\sigma_{a \max}}$	1	0,908	0,812	0,718	0,624	0,531	0,437	0,343	0,249	0,155
$t_i$	0,02	0,04	0,06	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,14

Для первого режима из  $n = 200$  опытов моделирования  $k = 168$  опытов окончились разрушением. Степень усечения выборки  $p = \frac{k}{n} = 0,84$ .

Коэффициенты, позволяющие на основании параметров усеченной выборки определить параметры исходной, получены по зависимостям рис. 1  $\bar{k}_r^a(p) = 0,251$  и  $\bar{k}_r^\sigma(p) = 1,257$ . Параметры исходной выборки, которые используются для построения функции распределения: среднее значение ресурса  $\bar{\lambda} = 6,698$  и среднее квадратическое отклонение  $S_\lambda = 1,043$ .

На рис. 2 представлены функции распределения для трех вариантов эксплуатации деталей.

Таким образом, расчетные данные, полученные по предлагаемому в работе методу, подтверждаются экспериментально, что позволяет рассматривать возможность применения метода для оценки вероятности разрушения механических систем.

Универсальность метода определяет область его применения для различных узлов и деталей машин (подшипники, зубчатые колеса, валы и др).

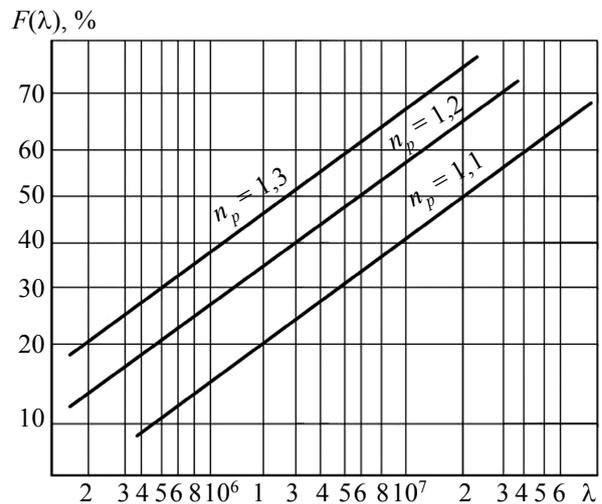


Рис. 2. Функции распределения для трех режимов

$$\left( n_p = \frac{\sigma_{a \max}}{\bar{\sigma}_{-1д}} = 1,3; 1,2; 1,1 \right)$$

Fig. 2. Distribution functions for three modes

$$\left( n_p = \frac{\sigma_{a \max}}{\bar{\sigma}_{-1д}} = 1,3; 1,2; 1,1 \right)$$

### Выводы

В соответствии с целью исследования установлено следующее.

1. Полученные результаты подтверждают возможность использования метода Монте-Карло для оценки вероятности разрушения элементов механических систем.

2. Проведение расчетов указанным методом позволяет избежать крайне затратного экспериментального определения среднего значения величины  $\bar{\sigma}_{-16}$  и стандартного отклонения  $S_{\sigma_{-16}}$  предела выносливости детали методом «лестницы»; определения среднего значения максимальной амплитуды в блоке нагружения  $\bar{\sigma}_{a_{max}}$  и ее стандартного отклонения  $S_{\delta_{a_{max}}}$  путем неоднократного тендометрирования в одинаковых условиях эксплуатации и последующей статистической обработки результатов тендометрирования.

### Библиографические ссылки

1. Терентьев А. В., Ефименко Д. Б. К вопросу многокритериальной оценки срока эксплуатации автомобиля // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №1 (60). С. 21–27.
2. Терентьев А. В., Тарасов И. В., Терентьева В. А. Иерархия системы управления рациональным сроком службы автомобилей // Экономика и менеджмент систем управления. 2016. № 4 (22). С. 46–50.
3. Maksimychiev O.I., Ostroukh A.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y.E.-O., Karelina M.Y., Zhankaziev S.V. Automated Control System of Road Construction Works. *International J. of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, no. 9, pp. 6441-6446.
4. Maksimychiev O.I., Ivakhnenko.A.M., Ostroukh A.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y.E.-O., Karelina M.Y., Zhankaziev S.V. Technology of monitoring and control algorithm design for earth-moving machine. *International J. of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, no 9, pp. 6430-6434.
5. Терентьев А. В., Евтюков С. А., Гинзбург Г. Методология управления рациональным сроком службы автомобиля // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 1 (56). С. 3–10.
6. Терентьев А. В., Кир'енко Д. К. Влияние непланового текущего ремонта на рациональный срок службы автотранспортного средства // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 4 (57). С. 178–182.
7. Терентьев А. В., Арифиллин И. В. Общая методика планирования многофакторного анализа при решении технологических задач авторемонтного производства // Транспорт: наука, техника, управление. 2019. № 11. С. 63–66.
8. Терентьев А. В., Арифиллин И. В., Таланова И. Н. Многокритериальная аналитическая модель определения срока эксплуатации автомобиля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного

технического университета (МАДИ). 2019. № 4 (59). С. 3–8.

9. Terentiev A.V., Kapustin A.A. Rational Lifetime of a Vehicle in Terms of Ensuring Security of Its Design. *Transportation Research Procedia*, 2017, no. 20, pp. 254-260.

10. Карелина М. Ю., Арифиллин И. В., Терентьев А. В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 1 (52). С. 3–9.

11. Dejan B. Momčilović, Aleksandar Subić, Ivana D. Atanasovska, Radivoje Mitrović. Combined Load Simulation vs Component Loads Simulation in Machine Design - a Case Study. *FME Transactions*, 2014, no. 42, pp. 48-55.

12. Nicola Pedroni, Enrico Zio, Francesco Cadini. Advanced Monte Carlo Methods and Applications. *ASCE-ASME J. of Risk and Uncertainty in Engineering Systems*, 2017, no. 3.

### References

1. Terent'ev A.V., Efimenko D.B. [On the issue of multi-criteria assessment of the life of a car]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2018, no. 1, pp. 21-27 (in Russ.).
2. Terent'ev A.V., Tarasov I.V., Terent'eva V.A. [The hierarchy of the management system for the rational life of cars]. *Ekonomika i menedzhment sistemu pravleniya*, 2016, no. 4, pp. 46-50 (in Russ.).
3. Maksimychiev O.I., Ostroukh A.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y.E.-O., Karelina M.Y., Zhankaziev S.V. Automated Control System of Road Construction Works. *International J. of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, no. 9, pp. 6441-6446.
4. Maksimychiev O.I., Ivakhnenko.A.M., Ostroukh A.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y.E.-O., Karelina M.Y., Zhankaziev S.V. Technology of monitoring and control algorithm design for earth-moving machine. *International J. of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, no 9, pp. 6430-6434.
5. Terent'ev A.V., Evtyukov S.A., Ginzburg G. [Rational Life Cycle Management Methodology]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2017, no. 1, pp. 3-10 (in Russ.).
6. Terent'ev A.V., Kir'enko D.K. [The effect of unscheduled maintenance on the rational life of a vehicle]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2016, no. 4, pp. 178-182 (in Russ.).
7. Terent'ev A.V., Arifullin I.V. [General methodology for planning multivariate analysis in solving technological problems of car repair production]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2019, no. 11, pp. 63-66 (in Russ.).
8. Terent'ev A.V., Arifullin I.V., Talanova I.N. [Multicriteria analytical model for determining the life of a car]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo*

gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI), 2019, no. 4, pp. 3-8 (in Russ.).

9. Terentiev A.V., Kapustin A.A. Rational Lifetime of a Vehicle in Terms of Ensuring Security of Its Design. *Transportation Research Procedia*, 2017, no. 20, pp. 254-260.

10. Karelina M.Yu., Arifullin I.V., Terent'ev A.V. [Analytical determination of weighting factors in multicriteria assessment of vehicle performance]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstven-*

*nogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2018, no. 1, pp. 3-9 (in Russ.).

11. Dejan B. Momčilović, Aleksandar Subić, Ivana D. Atanasovska, Radivoje Mitrović. Combined Load Simulation vs Component Loads Simulation in Machine Design - a Case Study. *FME Transactions*, 2014, no. 42, pp. 48-55.

12. Nicola Pedroni, Enrico Zio, Francesco Cadini. Advanced Monte Carlo Methods and Applications. *ASCE-ASME J. of Risk and Uncertainty in Engineering Systems*, 2017, no. 3.

### Some Features of Calculating Durability of Machine Components and Parts

*M.Yu. Karelina*, DSc in Engineering, DSc in Education, Professor, Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), Moscow, Russia

*I.V. Kostyuk*, Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), Moscow, Russia

*T.Yu. Cherepnina*, PhD in Historical Sciences, Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), Moscow, Russia

*V.R. Rogov*, PhD in Engineering, Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), Moscow, Russia

*The practice of trucking enterprises shows that, depending on the nature of the work performed, as a rule, there is not only the mandatory priority of several criteria, for example, when choosing a car, but also the need to obtain differentiable values of the coefficients of relative importance for a given level of efficiency. For example, when it is necessary to take into account a number of properties simultaneously, each of which is determined by a set of its indicators, and it is required to optimize the process of their implementation. In this case, it is necessary to obtain balanced values of the coefficients of relative importance following the tasks' objectives. A scientific approach to solving this problem dictates the need to decide on not one, but several performance indicators.*

*Particular attention has been paid to the calculation of the durability distribution function at the design stage and the prototype development. The prospect of the Monte Carlo method for assessing the resource has been justified. An example of calculating the function of the distribution of the durability of a part under variable loads in various operating modes is given. The computed data obtained by the method proposed in the work are confirmed experimentally, which allows us to consider the possibility of using the method to assess the probability of destruction of mechanical systems. The method's universality determines its scope for various components and machine parts (bearings, gears, shafts, etc.).*

**Keywords:** durability of machine parts, fatigue failure, Monte Carlo method, design, resource.

Получено 20.03.2020

#### Образец цитирования

Некоторые особенности расчета долговечности и надежности узлов и деталей машин / М. Ю. Карелина, И. В. Костюк, Т. Ю. Черепнина, В. Р. Рогов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 25–30. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-25-30.

#### For Citation

Karelina M.Yu., Kostyuk I.V., Cherepnina T.Yu., Rogov V.R. [Some Features of Calculating Durability of Machine Components and Parts]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 3, pp. 25-30 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-25-30.