

УДК 621.95.08

## О статистической устойчивости параметров распределения Вейбулла в практическом описании стойкости металлорежущих инструментов

Е.Н. Малышев<sup>1</sup>, Е.А. Лошкарева<sup>2</sup>, В.Н. Зенкин<sup>3</sup><sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана<sup>2</sup> Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского<sup>3</sup> ООО «ТЕХНОПРОМ»

## On statistical stability of the Weibull distribution parameters in practical description of the metal-cutting tool resistance

E.N. Malyshev<sup>1</sup>, E.A. Loshkareva<sup>2</sup>, V.N. Zenkin<sup>3</sup><sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University<sup>2</sup> Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky<sup>3</sup> TECHNOPROM LLC

Стойкость металлорежущих инструментов, применяемых для изготовления изделий, в значительной степени формирует их технологическую себестоимость и характеризует технико-экономическую эффективность производства в целом. Стойкость инструментов имеет вариативный характер в силу изменчивости характеристик элементов технологической системы и нестабильности параметров протекающих в ней процессов при обработке изделий. Вариативность стойкости металлорежущего инструмента на практике зачастую описывают с применением трехпараметрического распределения Вейбулла. Параметры соответствующего распределения традиционно определяют после завершения сбора статистических данных. Предложено принимать решения о значениях параметров искомого закона распределения в процессе набора статистических данных, а значит, существенно уменьшить объем выборок, затраты времени на ожидание сбора статистических данных и время до принятия исследователем решения без потери его качества. Такое решение основано на статистической устойчивости функций выборки, свойственной многим физическим процессам. Приведен практический пример описания стойкости металлорежущих инструментов посредством трехпараметрического распределения Вейбулла на основе накопительного подхода к обработке поступающих статистических данных.

EDN: JOBJOF, <https://elibrary/jobjof>

**Ключевые слова:** металлорежущий инструмент, стойкость инструмента, принятие решений, распределение Вейбулла, статистическая устойчивость

Durability of the metal-cutting tools used in a product manufacture largely determines technological cost of their production and characterizes technical and economic efficiency thereof as a whole. The tool durability has variable nature due to differences in characteristics of the technological system elements and instability in the parameters of processes occurring in a technological system during the product machining. In practice, variability in the metal-cutting tool durability value is often described using the three-parameter Weibull

distribution. The corresponding distribution parameters are traditionally determined after completing collection of the statistical data. The paper proposes to make decisions on the parameter values of the sought-after distribution law in collecting the statistical data. It means significant reduction in sample volumes, time spent waiting for statistics collection and time before a researcher makes any decision without losing its quality. This solution is based on the sample function statistical stability inherent in many physical processes. The paper provides a practical example of describing durability of the metal-cutting tools using the three-parameter Weibull distribution based on cumulative approach to processing the incoming statistical data.

EDN: JOBJOF, <https://elibrary/jobjof>

**Keywords:** metal-cutting tool, tool durability, decision-making, Weibull distribution, statistical stability

Механическую обработку металлов резанием отличает высокая степень неопределенности, что обусловлено колебаниями физико-механических свойств материала, из которого выполнены заготовки (как в их партии, так и по всей поверхности отдельно взятых заготовок) [1, 2], а также разброс режущих свойств металлорежущих инструментов (далее инструменты) даже в пределах одной партии [3–5], стохастический характер процесса изнашивания инструмента [6, 7], дрейф характеристик металлорежущего станка [8] и др.

Одним из путей обеспечения управляемости в указанных условиях неопределенности является использование статистического подхода. В научно-технической литературе приведены результаты значительного количества исследований как по сбору статистических данных для различных сочетаний факторов технологических систем, так и по их использованию для выработки частных и общих рекомендаций по повышению эффективности процессов резания [9–13].

Традиционно обработка статистических данных начинается после набора необходимого количества (выборки требуемого объема) и направлена на установление закона распределения, наиболее хорошо описывающего случайную величину, выборку которой наблюдают. Хотя исследователи и стремятся минимизировать затраты на эксперимент путем минимизации объема выборки, ее объем все равно принимают избыточным (чтобы избежать ошибки первого рода), а принятие каких-либо управленческих решений откладывают до завершения полной обработки статистических данных.

Исследователь может принимать решения о значениях параметров искомого закона распределения уже в процессе набора статистических данных, а следовательно, значительно уменьшить объем выборок, затраты времени на ожи-

дание сбора статистических данных и время до принятия решения без потери его качества, если будет опираться на явление статистической устойчивости (стабильности) отдельных данных — функций выборки, — свойственное многим физическим процессам [14]. «Статистическая устойчивость в каждом конкретном случае является эмпирическим физическим законом, который, как и закон гравитации, или закон индукции, вытекает из опыта, а не из математики» [15].

Для анализа и описания стойкости инструмента часто применяют трехпараметрическое распределение Вейбулла, функция распределения которого имеет вид

$$F(T) = 1 - e^{-\left(\frac{t-T_0}{\eta}\right)^\beta}, \quad (1)$$

где  $t$  — время резания новым инструментом, мин;  $T_0$  — наработка, до которой не было ни одного отказа в исследуемой выборке, мин;  $\eta$  — ресурс распределения Вейбулла  $B_{63,2}$  — наработка, в течение которой в среднем отказывает 63,2 % инструментов в выборке, начиная с первого отказа, мин;  $\beta$  — параметр формы распределения Вейбулла.

Цель работы — обоснование и практическое подтверждение возможности принятия решений о значениях параметров распределения Вейбулла, характеризующего стойкость инструмента, непосредственно в процессе сбора статистических данных.

Из перечисленных параметров для организационно-экономических расчетов наиболее важными являются  $T_0$  и  $\eta$  [16]. Именно их определение является целью статистического анализа посредством распределения Вейбулла.

**На первом этапе исследований** выполним традиционный статистический анализ данных, ко-

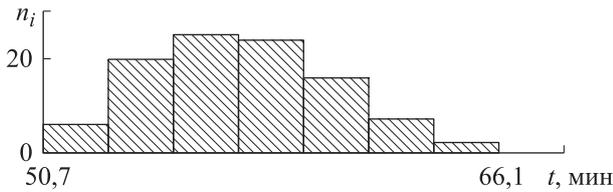


Рис. 1. Распределение частоты отказов  $n_i$  инструментов в выборке  $N = 100$  шт.

гда они собраны полностью, т. е. формирование выборки завершено.

Для такого анализа взята выборка из ста сверл (по ГОСТ 10903–77) из материала Р6М5 диаметром 16,25 мм. Условия работы: обрабатываемый материал — сталь 20, скорость резания — 17,6 м/мин, подача — 0,44 мм/об.

Решение о достижении инструментом предела стойкости (момента отказа) принималось в ходе постоянного измерения мощности, потребляемой двигателем вращения шпинделя.

Гистограмма, показывающая распределение во времени  $t$  частоты отказов  $n_i$  инструментов в выборке  $N = 100$  шт., показано на рис. 1.

Число классов группирования для построения гистограммы выбрано равным семи в интервале времени  $t = 50,7 \dots 66,1$  мин исходя из полученных данных с учетом рекомендаций Р 50.1.033-2001.

Для установления значений параметров распределения Вейбулла использованы возможно-

сти надстройки «Поиск решения» табличного редактора Microsoft Excel.

Для гистограммы, приведенной на рис. 1, получены следующие параметры: наработка, до которой не было ни одного отказа в исследуемой выборке,  $T_0 = 48,92$  мин; наработка, в течение которой в среднем отказывает 63,2 % инструментов в выборке,  $\eta = 8,29$  мин; параметр формы распределения Вейбулла  $\beta = 2,53$ .

Согласно ГОСТ Р 50779.27–2017, для проверки соответствия распределению Вейбулла использован коэффициент детерминации  $r^2$ . Для найденных значений параметров  $T_0$ ,  $\eta$  и  $\beta$  расчетный коэффициент детерминации  $r^2 = 0,99976$ , что подтверждает гипотезу о распределении Вейбулла.

**На втором этапе исследований** значения параметров распределения Вейбулла  $T_0$ ,  $\eta$  и  $\beta$  будем определять в процессе сбора статистических данных после немедленного поступления информации об отказе каждого  $i$ -го последовательно используемого инструмента ( $i | i = 1, \dots, N$ ), т. е. реализуем накопительный подход к обработке данных.

На рис. 2 серыми штрихами показана последовательность попадания времени отказа инструмента в соответствующий интервал при сборе статистических данных. Эту последовательность будем называть базовой.

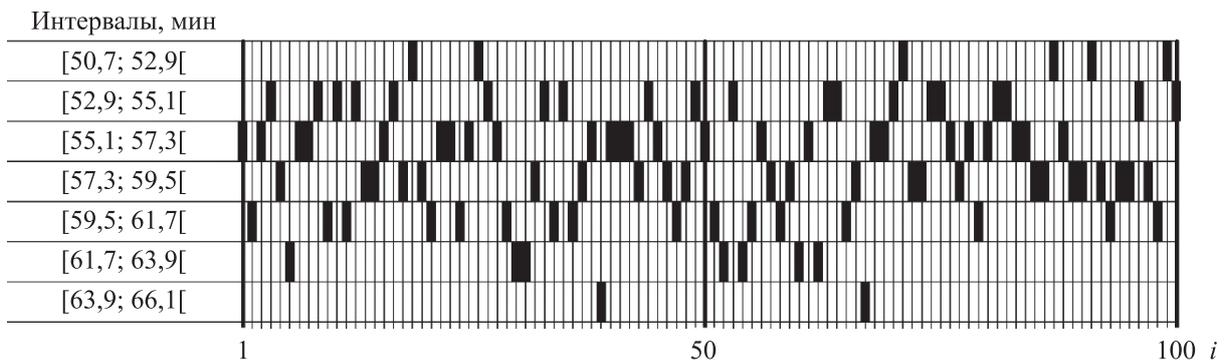


Рис. 2. Последовательность попадания времени отказа инструмента в соответствующий временной интервал

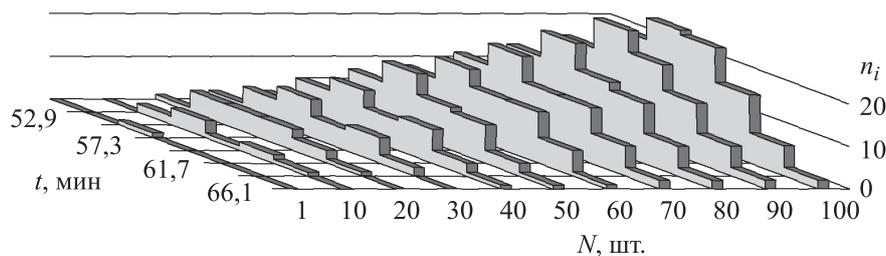


Рис. 3. Распределение частот  $n_i$  отказов инструментов при увеличении объема выборки  $N$

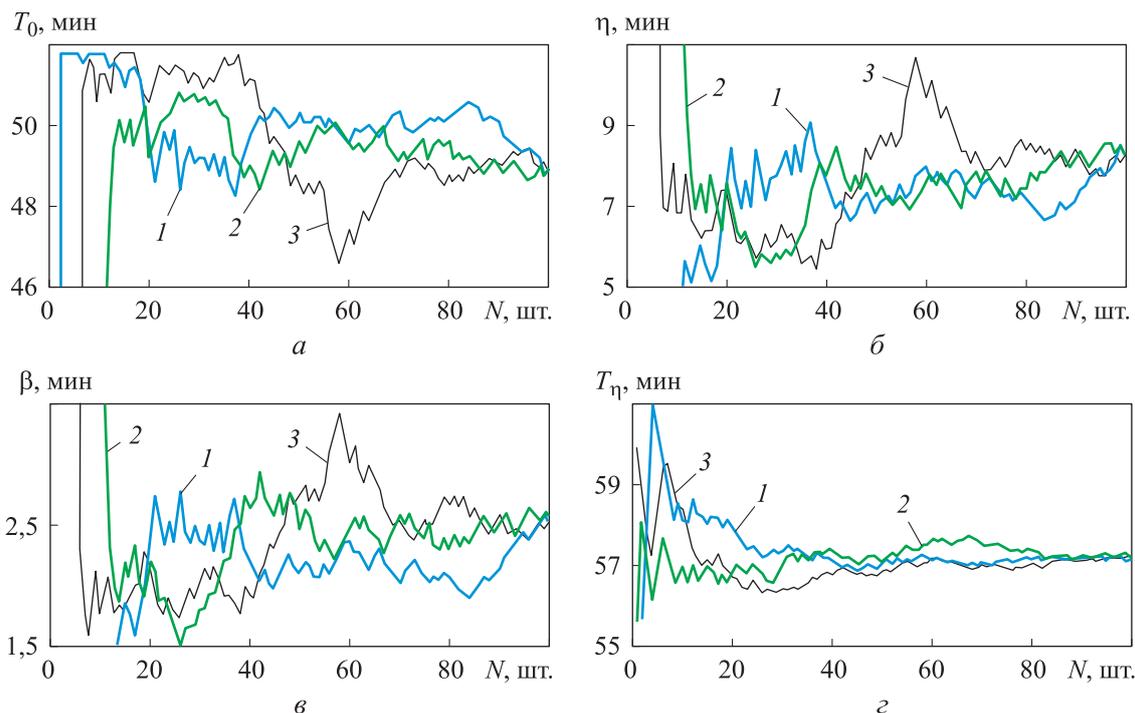


Рис. 4. Зависимости наработки на отказ  $T_0$  (а), ресурса  $\eta$  (б), параметра формы  $\beta$  (в) распределения Вейбулла и наработки  $T_\eta$  (г) от объема выборки  $N$ :  
1 — базовая последовательность; 2 и 3 — примеры прочих случайных последовательностей

Начиная с первого отказа инструмента и далее после отказа каждого последующего инструмента, строилась новая гистограмма частоты отказов. На рис. 3 показано как менялось распределение частоты  $n_i$  после каждых десяти отказов инструмента в соответствии с базовой последовательностью, приведенной на рис. 2.

Для каждой выборки, последовательно увеличивающейся в объеме с единичным шагом от 1 до  $N$  шт. инструментов, определены значения параметров распределения Вейбулла.

Зависимости наработки, до которой не было ни одного отказа в исследуемой выборке,  $T_0$ , ресурса  $\eta$  (б) и параметра формы (в) распределения Вейбулла  $\beta$  от объема выборки  $N$  приведены на рис. 4, а–в. Кривые 1 соответствуют изменению параметров при увеличении объема выборки в базовой последовательности.

Как видно из рис. 4, а–в, параметры  $T_0$ ,  $\eta$  и  $\beta$  чувствительны (имеют значительный размах) к изменению как объема выборки, так и к значениям вариант в выборке.

Для проверки зависимости указанных параметров от последовательности попадания времени отказа инструмента в соответствующий интервал проведены семьдесят численных экспериментов. Имеющиеся экспериментальные

данные по стойкости инструментов перемешивались случайным образом с целью генерации новых (отличных от базовой) последовательностей поступления этих данных для статистического анализа. Для последовательностей, полученных таким образом, находили значения параметров  $T_0$ ,  $\eta$  и  $\beta$ .

Графики для параметров базовой последовательности, показанные на рис. 4, а–в, дополнены результатами исследования двух из семидесяти сгенерированных случайных последовательностей, подтверждающих (как и исследования остальных шестидесяти восьми случайных последовательностей) чувствительность параметров  $T_0$ ,  $\eta$  и  $\beta$  к изменению как объема и значений вариант, так и к изменению последовательности вариант в выборке. То есть параметры  $T_0$ ,  $\eta$  и  $\beta$  не являются статистически устойчивыми, и их использование в процессе накопления статистических данных для упреждающих выводов о свойствах выборки с какой-либо степенью достоверности не представляется целесообразным.

В то же время при численных экспериментах выявлена значительная статистическая устойчивость параметра  $T_0 + \eta$ . Исходя из физического смысла параметров  $T_0$  и  $\eta$  можно считать, что параметр  $T_\eta$  представляет собой нара-

**Значения параметров распределения Вейбулла  
для различных границ и числа интервалов группирования данных**

Границы диапазона, мм	Число интервалов	Параметры распределения Вейбулла				Коэффициент детерминации $r_2$
		$T_0$	$\eta$	$\beta$	$T_\eta$	
<i>При изменении ширины диапазона</i>						
50,7...66,1	7	48,9	8,3	2,5	57,2	0,9998
48,5...68,3	9	48,9	8,3	2,5	57,2	0,9998
46,3...70,5	11	47,4	10,3	3,0	57,7	0,9915
44,1...72,7	13	45,2	12,11	3,9	57,3	0,9993
<i>При смещении границ диапазона</i>						
50,7...79,3	13	48,9	8,3	2,5	57,2	0,9998
46,3...74,9	13	47,4	9,9	3,1	57,3	0,9997
41,9...70,5	13	43,0	14,3	4,7	57,3	0,9989
37,5...66,1	13	38,6	18,8	6,6	57,4	0,9979

ботку, в течение которой в среднем отказывает 63,2 % инструментов в выборке, с началом отсчета от нуля временной шкалы. Введем для этого статистически устойчивого параметра обозначение

$$T_\eta = (T_0 + \eta). \quad (2)$$

Зависимость наработки  $T_\eta$  (2) от объема выборки  $N$  показана на рис. 4, 2. Видно, что, начиная с двадцатого инструмента в выборке, изменение параметра  $T_\eta$  не превышает  $\pm 1,5$  %. Статистическая устойчивость этого параметра в указанных пределах наблюдалась для всех семидесяти сгенерированных последовательностей.

Важным и широко обсуждаемым в литературе вопросом при обработке статистических данных является назначение количества и ширины интервалов группирования контролируемых параметров в выборке. Существующие рекомендации базируются на том, что исследуемый процесс на момент обработки данных полностью завершен, известны количество данных и их предельные значения [17]. При накопительном подходе к обработке данных приходится назначать число и ширину интервалов до начала их появления, учитывая декларируемые поставщиком инструмента значения его стойкости и опираясь на опыт аналогичных исследований, выполненных ранее.

Для приведенного примера данных по стойкости инструмента смоделированы ситуации с различными границами диапазонов ожидаемых значений и, соответственно, с разным количеством интервалов группирования значений параметров. Рассмотрены случаи с избыточным

(и даже чрезмерно избыточным) числом интервалов, а также различные варианты размещения/смещения результатов в выбранных диапазонах. Значения параметров распределения Вейбулла для некоторых рассмотренных случаев при объеме выборки  $N = 100$  шт. приведены в таблице.

Из таблицы следует, что значения параметров  $T_0$ ,  $\eta$  и  $\beta$ , найденные для указанных условий, являются статистически неустойчивыми — в сильной степени зависящими от выбранных границ диапазонов значений. В то же время значение параметра  $T_\eta$  является статистически устойчивым, отклоняясь от среднего значения  $T_\eta = 57,3$  мин не более чем на  $\pm 0,5$  %.

Значение наработки  $T_0$ , до которого не было ни одного отказа в исследуемой выборке, можно назначить из практических соображений, принимая за него минимальное значение из выборки, полученной в ходе исследований, а не из математической обработки статистических данных. Так, в ходе выполненных исследований стойкость инструментов принимала минимальное значение  $T_0 = 51$  мин.

Тогда с учетом введенного обозначения (2) трехпараметрическое распределение Вейбулла (1) принимает вид

$$F(T) = 1 - e^{-\left(\frac{t-T_\eta}{T_\eta-T_0} + 1\right)^\beta}.$$

## Выводы

1. Использование проявлений статистической устойчивости позволяет принимать ре-

шения о значениях параметров искомого закона распределения стойкости инструмента уже в процессе набора статистических данных, а следовательно, значительно уменьшить объем выборки, затраты времени на ожидание сбора данных и время до принятия исследователем решения без потери его качества. По результатам исследования установлено, что, начиная с двадцатого инструмента в выборке, изменение значения параметра  $T_{\eta}$  не превышает  $\pm 1,5\%$ , и дальнейшее увеличение выборки не приводит к уточнению значения этого параметра.

2. Если исследователем будет принято решение об обработке статистических данных в процессе их сбора (накопительный подход), то для практического описания стойкости ин-

струмента следует использовать трехпараметрическое распределение Вейбулла

$$F(T) = 1 - e^{-\left(\frac{t-T_0}{T_1-T_0} + 1\right)^{\beta}}$$

Здесь  $T_{\eta}$  — статистически устойчивая характеристика — наработка, в течение которой в среднем отказывают 63,2 % инструментов в выборке, с началом отсчета от нуля временной шкалы;  $T_0$  — статистически неустойчивая характеристика, значение которой зависит от выбранного диапазона группирования результатов исследования — минимальное значение наработки, до которой не было ни одного отказа в исследуемой выборке;  $\beta$  — статистически неустойчивая характеристика, обычно неиспользуемая для практических целей.

## Литература

- [1] Муратов К.Р. Влияние жесткой и фрикционной кинематической связи в контакте инструмент-деталь на равномерность износа инструмента. *СТИН*, 2015, № 9, с. 23–26.
- [2] Уткин Е.Ф. Оценка влияния деформационных процессов в контактируемых зонах обрабатываемого и инструментального материалов на износ режущего инструмента. *Известия ВолгГТУ*, 2007, № 3, с. 132–134.
- [3] Кушнер В.С., Жавнеров А.Н., Удодова А.В. Повышение режущих свойств инструмента при обработке резанием жаропрочных сплавов. *Омский научный вестник*, 2011, № 2, с. 20–23.
- [4] Макаренко К.В., Толстяков А.Н. Исследование стойкости многогранных неперетачиваемых пластин при токарной обработке термически упрочненной стали 40X2H2MA. *Вестник БГТУ*, 2018, № 6, с. 11–15, doi: [https://doi.org/10.30987/article\\_5b86566b2d4fc7.39968105](https://doi.org/10.30987/article_5b86566b2d4fc7.39968105)
- [5] Верещака А.А., Хожаев О. Повышение эксплуатационных характеристик инструмента из безвольфрамовых твердых сплавов с помощью наноструктурированных многослойно-композиционных покрытий. *Вестник БГТУ*, 2014, № 3, с. 20–25, doi: <https://doi.org/10.12737/23193>
- [6] Лесков А.В., Власов В.В. *Математическая статистика в технологии производства машиностроительной продукции*. Чита, ЗабГУ, 2023. 119 с.
- [7] Анцев А.В. *Повышение эффективности эксплуатации лезвийного инструмента при неопределенности условий обработки*. Дисс. ... док. тех. наук. Тула, ТулГУ, 2020. 236 с.
- [8] Баранов А.Н., Баранова Е.М. Методика учета физического износа оборудования в процессе контроля качества изделий на стадии их производства. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2017, № 10, с. 118–126.
- [9] Маргинов Г.М., Григорьев А.С. Диагностирование режущих инструментов и прогнозирование их остаточной стойкости на станках с ЧПУ в процессе обработки. *СТИН*, 2012, № 12, с. 23–27.
- [10] Ивченко Т.Г. Прогнозирование параметров закона распределения стойкости режущего инструмента как случайной величины. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*, 2016, № 3, с. 49–54.
- [11] Vagnorius Z., Rausand M., Sørby K. Determining optimal replacement time for metal cutting tools. *Eur. J. Oper. Res.*, 2010, vol. 206, no. 2, pp. 407–416. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.03.023>
- [12] Грубый С.В. Количественные показатели изнашивания твердосплавных инструментов с учетом вариации твердости. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 2, с. 11–20, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-2-11-20>

- [13] Сидоров А.С. *Мониторинг и прогнозирование износа режущего инструмента в мехатронных станочных системах*. Дисс. ... канд. тех. наук. Уфа, УГАТУ, 2007. 177 с.
- [14] Горбань И.И. Феномен статистической устойчивости. *Журнал технической физики*, 2014, т. 84, № 3, с. 22–30.
- [15] Korn G.A., Korn T.M. *Mathematical handbook for scientists and engineers*. Dover, 2000. 1130 p.
- [16] Малышев Е.Н., Лошкарева Е.А. Назначение планового периода стойкости металлорежущего инструмента на основе статистических данных. *Металлообработка*, 2023, № 4, с. 25–31.
- [17] Пасько Н.И., Анцев А.В. *Статистические методы в управлении качеством*. Тула, ТулГУ, 2014. 173 с.

## References

- [1] Muratov K.R. Productivity and quality in the finishing of lithium-niobate single crystals. *STIN*, 2015, no. 9, pp. 23–26. (In Russ.). (Eng. version: *Russ. Engin. Res.*, 2015, vol. 35, no. 9, pp. 711–713, doi: <https://doi.org/10.3103/S1068798X15090154>)
- [2] Utkin E.F. Assessment of the influence of deformation processes in the contact zones of machined and tooling materials on cutting tool wear. *Izvestiya VolgGTU [Izvestia Volgograd State Technical University]*, 2007, no. 3, pp. 132–134. (In Russ.).
- [3] Kushner V.S., Zhavnerov A.N., Udodova A.V. Improvement of cutting properties of the tool at processing of heat resistant alloys. *Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 2011, no. 2, pp. 20–23. (In Russ.).
- [4] Makarenko K.V., Tolstyakov A.N. Investigation of faceted through-away tip durability at thermally hardened 40h2n2ma steel turning. *Vestnik BGTU [Bulletin of Bryansk State Technical University]*, 2018, no. 6, pp. 11–15, doi: [https://doi.org/10.30987/article\\_5b86566b2d4fc7.39968105](https://doi.org/10.30987/article_5b86566b2d4fc7.39968105) (in Russ.).
- [5] Vereshchaka A.A., Khozhaev O. Improving operational characteristics of tool from tungsten-free carbides (cermets) by nanostructured multilayer composite coatings. *Vestnik BGTU [Bulletin of Bryansk State Technical University]*, 2014, no. 3, pp. 20–25, doi: <https://doi.org/10.12737/23193> (In Russ.).
- [6] Leskov A.V., Vlasov V.V. *Matematicheskaya statistika v tekhnologii proizvodstva mashinostroitelnoy produkcii [Mathematical statistics in the technology of machine-building production]*. Chita, ZabGU Publ., 2023. 119 p. (In Russ.).
- [7] Antsev A.V. *Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii lezviynogo instrumenta pri neopredelennosti usloviy obrabotki*. Diss. dok. tekhn. nauk [Increasing the efficiency of blade tool operation under uncertainty of machining conditions. Kand. tech. sci. diss.]. Tula, TulGU Publ., 2020. 236 p. (In Russ.).
- [8] Baranov A.N., Baranova E.M. The technique is based on physical wear of the equipment in the process of quality control of products at the stage of their production. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki [News of the Tula state university. Technical sciences]*, 2017, no. 10, pp. 118–126. (In Russ.).
- [9] Martinov G.M., Grigoryev A.S. Diagnostics of cutting tools and prediction of their life in numerically controlled systems. *STIN*, 2012, no. 12, pp. 23–27. (In Russ.). (Eng. version: *Russ. Engin. Res.*, 2013, vol. 33, no. 7, pp. 433–437, doi: <https://doi.org/10.3103/S1068798X13070137>)
- [10] Ivchenko T.G. Prognostication of parameters of the cutting tool life distributing law as casual value. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya [Progressive Technologies and Systems of Mechanical Engineering]*, 2016, no. 3, pp. 49–54. (In Russ.).
- [11] Vagnorius Z., Rausand M., Sørby K. Determining optimal replacement time for metal cutting tools. *Eur. J. Oper. Res.*, 2010, vol. 206, no. 2, pp. 407–416. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.03.023>
- [12] Grubby S.V. Quantitative wear indicators in carbide tools with variation in hardness. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [BMSTU Journal of Mechanical Engineering]*, 2023, no. 2, pp. 11–20, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-2-11-20> (in Russ.).

- [13] Sidorov A.S. *Monitoring i prognozirovanie iznosa rezhushchego instrumenta v mekhatronnykh stanochnykh sistemakh*. Disc. kand. tekhn. nauk [Monitoring and prediction of cutting tool wear in mechatronic machine tool systems. Kand. tech. sci. diss.]. Ufa, UGATU, 2007. 177 p. (In Russ.).
- [14] Gorban I.I. Phenomenon of statistical stability. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2014, vol. 84, no. 3, pp. 22–30. (In Russ.). (Eng. version: *Tech. Phys.*, 2014, vol. 59, no. 3, pp. 333–340, doi: <https://doi.org/10.1134/S1063784214030128>)
- [15] Korn G.A., Korn T.M. *Mathematical handbook for scientists and engineers*. Dover, 2000. 1130 p.
- [16] Malyshev E.N., Loshkareva E.A. Planning of the metal-cutting tool's wear resistance based on statistical data. *Metalloobrabotka* [Metalworking], 2023, no. 4, pp. 25–31. (In Russ.).
- [17] Pasko N.I., Antsev A.V. *Statisticheskie metody v upravlenii kachestvom* [Statistical methods in quality control]. Tula, TulGU Publ., 2014. 173 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 29.02.2024

## Информация об авторах

**МАЛЫШЕВ Евгений Николаевич** — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроительные технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: malen@bmstu.ru).

**ЛОШКАРЕВА Елена Анатольевна** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и математика». Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского (248023, Калуга, Российская Федерация, ул. Степана Разина, д. 26, e-mail: losh-elena@yandex.ru).

**ЗЕНКИН Вячеслав Николаевич** — технолог. ООО «ТЕХНОПРОМ» (248002, Калуга, Российская Федерация, ул. Салтыкова-Щедрина, д. 139, e-mail: sl.nizenkin@gmail.com).

## Information about the authors

**MALYSHEV Evgeny Nikolaevich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering Technologies. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: malen@bmstu.ru).

**LOSHKAREVA Elena Anatolyevna** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Physics and Mathematics. Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky (24802326, Kaluga, Russian Federation, Stepan Razin St., Bldg. 26, e-mail: losh-elena@yandex.ru).

**ZENKIN Vyacheslav Nikolaevich** — Technologist. TECHNOPROM LLC (248002, Kaluga, Russian Federation, Saltykov-Shchedrin St., Bldg. 139, e-mail: sl.nizenkin@gmail.com).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Малышев Е.Н., Лошкарева Е.А., Зенкин В.Н. О статистической устойчивости параметров распределения Вейбулла в практическом описании стойкости металлорежущих инструментов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 12, с. 44–51.

### Please cite this article in English as:

Malyshev E.N., Loshkareva E.A., Zenkin V.N. On statistical stability of the Weibull distribution parameters in practical description of the metal-cutting tool resistance. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 12, pp. 44–51.