

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА СО СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ МЕТОДАМИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

В статье рассмотрены вопросы стойкости сборного режущего инструмента в процессе обработки металла резанием, а также риск потери его работоспособности. В ходе оценки вероятности отказа инструмента при нарушении установленного критерия износа используются результаты производственного эксперимента при черновой обработке детали «Вал» из прутка диаметром 58 мм из сплава ХН77ТЮР. Обработка детали велась сборным режущим инструментом со сменными многогранными пластинами круглой и квадратной формы, имеющими по типу специальное исполнение из сплавов: ВК6м, ВК8 и Т15К6. Для оценки полученных результатов и описания их распределения авторами используется критерий согласия Шапиро–Уилка для проверки корреляции между исходными данными и соответствующим предположением об их нормальном распределении. Так как полученные данные производственных испытаний не подчиняются нормальному закону распределения, для дальнейшего анализа применяется непараметрический метод Парзена–Розенблатта.




Ключевые слова: сборный режущий инструмент, сменные многогранные пластины, работоспособность, вероятность отказа, критерий согласия Шапиро–Уилка, непараметрическая статистика, метод Парзена–Розенблатта, функция плотности распределения.

Введение. В современном машиностроении широкое применение получили сборные режущие инструменты со сменными многогранными пластинами (СМП). Изготовление СМП из твердого сплава обеспечивает их высокую эффективность, которая выражается в увеличении срока службы, производительности инструмента, а также в возможности быстрой замены в случае поломки, скола или затупления [1]. Однако на практике вопрос стойкости сборного режущего инструмента и повышения его работоспособности остается актуальным. В машиностроительном производстве инструмент с твердосплавными СМП эксплуатируется при высоких температурах, с большой скоростью резания, а также ударных и механических нагрузках [2, 3]. В результате нагрузок происходит затупление режущей кромки пластины или ее разрушение частично или полностью на различных этапах процесса резания. В производственных условиях затупление СМП имеет допустимый предел, т.е. величину износа, при которой наступает отказ и сборный режущий инструмент теряет свою работоспособность [4, 5]. Для оценки вероятности отказа работы инструмента

на основе статистических данных производственных испытаний могут быть использованы непараметрические методы в случае, если их распределение не поддается ни одному закону распределения.

Постановка задачи. В ходе анализа причин потери работоспособности выделяются три основных фактора, следствием которых они являются: это нерациональные режимы резания, неправильный выбор инструментального материала и неправильная геометрия. Данные факторы зависят от физико-механических характеристик как инструментального, так и обрабатываемого материала и рациональной геометрии режущей части [6, 7]. Для оценки вероятности отказа инструмента при нарушении критерия износа могут применяться различные способы, в том числе с использованием компьютерного моделирования оценки риска потери работоспособности инструмента по данным экспериментальных исследований. В данном исследовании основными данными для моделирования являются выборки по результатам работы сборного режущего инструмента с различными геометрическими параметрами из нескольких видов инструментальных сплавов.

Результаты производственного исследования

№ п/п	Инструмент	Причины завершения обработки:										Результаты работы инструмента										
		затупление; 										скол пластины; 		поломка пластины;  поломка пластины, деформирована опорная поверхность								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	PRDCN-404OS20 (12227 – 2006 M03 сплав ВК6м)	№ пластины																				
		Ком-во обработанных деталей	70	68	71	71	62	58	15	52	63	50	51	31	32	39	22	69	70	31	40	25
2	PRDCN-404OS20 (12227 – 2006 M03 сплав ВК8)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	99	101	98	93	69	91	101	98	63	45	90	71	28	98	45	46	99	45	61	46
3	PRDCN-404OS20 (12227 – 2006 M03 сплав Т15К6)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	52	55	17	53	53	31	32	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	SRDCN-404OS20 (12227 – 2006 M03 сплав ВК6м)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	71	68	71	71	70	68	68	51	59	42	70	69	62	58	40	42	60	58	58	40
5	SRDCN-404OS20 (12227 – 2006 M03 сплав ВК8)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	100	99	101	98	101	101	101	101	61	92	80	100	100	80	90	61	100	54	93	61
6	SRDCN-404OS20 (12227 – 2006 M03 сплав Т15К6)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	54	55	28	52	55	52	53	51	33	16	52	53	53	52	17	26	56	18	18	17
7	SRDCN-404OS20-M (12227 – 2006 M03 сплав ВК6м)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	68	71	70	70	68	68	71	70	70	70	71	70	70	68	70	69	70	68	68	70
8	SRDCN-404OS20-M (12227 – 2006 M03 сплав ВК8)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	101	100	101	101	100	101	98	100	101	101	100	100	100	100	101	100	101	101	100	100
9	SRDCN-404OS20-M (12227 – 2006 M03 сплав Т15К6)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	50	54	53	51	53	53	52	52	53	50	53	53	53	53	52	53	53	53	54	53
10	PSCDN-404OS19 (03227 – 1906 043 сплав ВК6м)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	63	43	15	27	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	PSCDN-404OS19 (03227 – 1906 043 сплав ВК8)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	94	95	31	43	25	45	30	34	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	PSCDN – 404OS19 (03227 – 1906 043 сплав Т15К6)	№ пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Ком-во обработанных деталей	48	16	45	23	9	12	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

В условиях практического применения, в тех случаях, когда качество поверхности детали не имеет заданных условий, в том числе при черновой обработке, за критерий износа принимают износ по задней поверхности. При этом при чистовой обработке деталей устанавливается величина износа по задней поверхности, в соответствии с техническими условиями, превышение которой приводит к неудовлетворительной точности и шероховатости обработанной поверхности.

Проведение эксперимента. Оценка вероятности отказа инструмента производится авторами при черновой обработке детали «Вал» из прутка диаметром 58 мм из сплава ХН77ТЮР. Деталь предназначена для электропривода, который используется для управления рабочими органами запорной арматуры магистральных нефтепродуктопроводов.

Деталь имеет простую форму что позволяет, при черновой обработке, не устанавливать ограничения на угол при вершине и главный угол в плане. Следовательно, может быть использован инструмент с различными параметрами державок с применением различных форм пластин для черновой обработки любой поверхности рассматриваемой детали.

В ходе производственного эксперимента обработка детали велась сборным режущим инструментом со СМП круглой и квадратной формы, имеющим по типу специальное исполнение из сплавов: ВК6м, ВК8 и Т15К6. Пластины круглой формы с рычажным типом крепления и креплением винтом имеют следующие параметры: главный задний угол $\alpha=7^\circ$, главный передний угол γ и угол наклона режущей кромки λ равны 0° , угол при вершине $\varepsilon=180^\circ$, главный угол в плане $\varphi=1^\circ$, радиус при вершине составляет 10 мм. Квадратные пластины имеют главный задний угол $\alpha=7^\circ$, главный передний угол γ и угол наклона режущей кромки λ равны 0° , угол при вершине $\varepsilon=90^\circ$, главный угол в плане $\varphi=45^\circ$, радиус при вершине составляет 0,4 мм, тип крепления — прижим рычагом через отверстие.

Каждым сборным инструментом в ходе исследования осуществлялась черновая обработка детали с применением 20 одинаковых пластин до их затупления или выхода из строя. За критерий затупления был принят износ по задней поверхности, равный 0,3 мм. Количество деталей, обработанных каждой пластиной, и схемы базирования сборного режущего инструмента представлены в табл. 1. Указанные выше параметры режущего инструмента представлены в соответствии с условными обозначениями, принятыми в стандартах: ГОСТ Р 59472 — 2021 (ИСО 5608:2012) [8] и ГОСТ 19042 — 80 (ИСО 1832 — 85) [9].

Обсуждение эксперимента. Для оценки полученных результатов и описания распределения экспериментальных данных в ходе исследования авторами используется критерий согласия Шапиро — Уилка. Параметрический тест Шапиро — Уилка считается одним из наиболее распространенных критериев проверки корреляции между исходными данными и соответствующим предположением об их нормальном распределении [10, 11]. Данный критерий относится к специальным критериям согласия и надежно работает для малой выборки x_i , $i=1, n$, которая находится в диапазоне $8 \leq n \leq 50$. При этом выборка должна быть представлена в виде вариационного ряда в порядке возрастания значений от x_{\min} до x_{\max} .

Статистика критерия Шапиро — Уилка определяется по формуле:

$$W = \frac{b^2}{D^2}, \quad (1)$$

$$\text{где } D^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2, \quad (2)$$

коэффициент b вычисляется по зависимости:

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_i). \quad (3)$$

Для расчета зависимости (3) берутся значения коэффициентов a_{n-i+1} , представленных в стандарте ГОСТ Р ИСО 5479 — 2002 [10], при этом если n является четным числом, то

$$k = n/2. \quad (4)$$

В том случае, если значение выборки n является нечетным числом, то

$$k = (n - 1)/2. \quad (5)$$

Коэффициенты, используемые для проверки гипотезы о нормальности распределения с помощью критерия W , представлены в справочных таблицах стандарта [10].

Гипотеза о подчинении распределения случайной величины x нормальному закону распределения принимается в том случае, если выполняется условие:

$$W \geq W_{\alpha'}, \quad (6)$$

где $W_{\alpha'}$ — критическое значение критерия Шапиро — Уилка при уровне значимости α . Данное критическое значение зависит не только от уровня значимости α , но и от объема выборки n . Величина W_{α} приводится в справочных таблицах [12, 13] для значений $\alpha=0,01$, $\alpha=0,05$ и $\alpha=0,10$.

В ходе анализа данных, полученных в данном исследовании, уровень значимости α , который представляет вероятность допущения ошибки первого рода, принят $\alpha=0,05$. Обработка полученных результатов работы сборного режущего инструмента с СМП с использованием критерия Шапиро — Уилка осуществлялась в программном обеспечении Mathcad при сравнении линейной комбинации разности порядковых статистик. Полученные значения W , а также размер выборки n , вероятность допущения ошибки α и критическое значение Шапиро — Уилка представлены в табл. 2.

Исходя из полученных результатов, представленных в таблице, гипотеза о подчинении распределения величины выборки нормальному закону и соблюдение неравенства $W \geq W_{\alpha'}$, выполняется для значений $n \leq 8$. При этом для выборки $n=20$ эмпирическое распределение не соответствует нормальному закону.

Так как для авторов наибольший интерес представляют результаты работы сборного режущего инструмента до достижения критерия затупления без поломки пластины и деформации опорной поверхности, необходимо оценить риск потери его работоспособности до предельного значения количества обработанных деталей.

Данные, полученные по результатам производственных испытаний, не подчиняются нормальному закону распределения и имеют небольшой объем, в связи с чем применение стандартных методов

Результаты расчета критерия Шапиро–Уилка

№ п/п	Обозначение инструмента и пластины	Вероятность допущения ошибки, α	Выборка, n	Значение критерия Шапиро–Уилка, W	Критическое значение критерия Шапиро–Уилка, W_α	Соблюдение условия $W \geq W_\alpha$
1	PRDCN – 4040S20 (12227 – 2006 M03 сплав BK6M)	0,05	20	0,903	0,905	нет
2	PRDCN – 4040S20 (12227 – 2006 M03 сплав BK8)	0,05	20	0,850	0,905	нет
3	PRDCN – 4040S20 (12227 – 2006 M03 сплав T15K6)	0,05	8	0,835	0,818	да
4	SRDCN – 4040S20 (12227 – 2006 M03 сплав BK6M)	0,05	20	0,839	0,905	нет
5	SRDCN – 4040S20 (12227 – 2006 M03 сплав BK8)	0,05	20	0,768	0,905	нет
6	SRDCN – 4040S20 (12227 – 2006 M03 сплав T15K6)	0,05	20	0,751	0,905	нет
7	SRDCN – 4040S20 – M (12227 – 2006 M03 сплав BK6M)	0,05	20	0,795	0,905	нет
8	SRDCN – 4040S20 – M (12227 – 2006 M03 сплав BK8)	0,05	20	0,703	0,905	нет
9	SRDCN – 4040S20 – M (12227 – 2006 M03 сплав T15K6)	0,05	20	0,769	0,905	нет
10	PSDCN – 4040S19 (03227 – 1906 043 сплав BK6M)	0,05	5	0,929	0,672	да
11	PSDCN – 4040S19 (03227 – 1906 043 сплав BK8)	0,05	9	0,786	0,829	нет
12	PSDCN – 4040S19 (03227 – 1906 043 сплав T15K6)	0,05	7	0,867	0,803	да

параметрической статистики не представляется возможным. Поэтому необходимо провести восстановление неизвестной функции плотности распределения и выбрать оптимальное значение параметра размытости (ширины окна) в ходе обработки данных с применением методов непараметрической статистики.

С учетом того, что малые выборки с $n \leq 8$ при обнаружении отклонений от нормального распределения не дают достоверных результатов, для дальнейшего анализа с помощью методов непараметрической статистики будем использовать данные, представленные в табл. 2, с размером выборки $n \geq 8$ и которые не подчиняются нормальному распределению, т.е. не выполняется условие $W \geq W_\alpha$.

Оценка вероятности отказа сборного режущего инструмента на основе математического аппарата непараметрической статистики, в ходе обработки данных эксперимента, связаны с компьютерным моделированием случайных величин, где принимается, что искомая функция с точностью до конечного числа параметров известна. Также ставится задача восстановления по заданной выборке случайной величины ее функции плотности распределения [14].

На сегодняшний день в математической статистике исследовано большое количество законов распределения случайных величин. При этом результаты обработки экспериментальных данных, полученных опытным путем в различных отраслях, свидетельствует о том, что в большинстве случаев распределение ряда случайных величин не подчиняется стандартным законам, описанным в рамках теории параметрической статистики. Это указывает на необходимость привлечения робастных методов, нечеткой логики или непараметрической статистики [15].

При обработке экспериментальных данных в задачах восстановления неизвестной функции плотности распределения случайных величин наибольшее распространение получили методы непараметрической статистики, в основе которых используются либо метод разложения по базисным функциям [16, 17], либо оценка Парзена – Розенблатта [18]. В данном исследовании при оценке риска отказа сборного режущего инструмента авторами предложено использовать непараметрический метод Парзена – Розенблатта.

В методах оценки функции плотности распределения, предложенных Парзеном и Розенблаттом

[19], используется сглаженная эмпирическая функция распределения в виде:

$$F_N(y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G\left(\frac{y - x_i}{h_N}\right), \quad (7)$$

где $G(t)$ — монотонно неубывающая функция от 0 до 1 своего аргумента, при этом $G(t) = 1 - G(-t)$, то есть $G(t)$ — функция симметричная относительно нуля; h_N — параметр размытости.

После дифференцирования (7) получим:

$$\begin{aligned} P_N(y) = F'_N(y) &= \frac{1}{N \cdot h_N} \sum_{i=1}^N G'\left(\frac{y - x_i}{h_N}\right) = \\ &= \frac{1}{N \cdot h_N} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{y - x_i}{h_N}\right), \end{aligned} \quad (8)$$

где $K(t) = G'(t)$ — плотность распределения $G(t)$, или ядерная функция (ядро).

Решение задачи восстановления функции плотности распределения методом Парзена–Розенблатта на основе (8) выполняется в два этапа. На первом этапе выбирается ядерная функция $K(t)$ из числа известных (табл. 1). На втором этапе решается задача определения оптимальной величины параметра размытости h_N .

Имеющиеся на сегодняшний день исследования функции (7) свидетельствуют о том, что смещение и вариация оценки (8) зависят от вида ядра $K(t)$ и значения параметра размытости h_N . В качестве ядерных функций используются различные зависимости, но наиболее универсальным является нормальное ядро:

$$K\left(\frac{y - x_i}{h_N}\right) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \exp\left[-0,5\left(\frac{y - x_i}{h_N}\right)^2\right]. \quad (9)$$

Определение оптимальной величины h_N является более сложной задачей, чем восстановление плотности распределения, поскольку оптимальное значение h_N зависит от неизвестной плотности распределения [20]. Для решения задач, возникающих в производственной деятельности, интерес может представлять лишь часть плотности распределения, отличная от средних или оптимальных значений. Так, для оценки вероятности отказа сборного режущего инструмента, наибольший интерес представляет левый хвост распределения, поскольку именно значительное снижение количества обработанных деталей каждой пластиной указывает на низкую производительность инструмента с заданными геометрическими параметрами в целом.

Поэтому для решения данной задачи авторами разработан алгоритм, обеспечивающий определение оптимального значения параметра h_N на основе лишь имеющейся выборки $x_i, i = \overline{1, N}$ случайной величины X . Начальное оптимальное значение параметра h_N («ширины окна») в случае использования нормального ядра, задается формулой:

$$h_N = D_N \cdot N^{-0,2}, \quad (10)$$

где D_N — выборочная дисперсия, рассчитываемая на основе имеющейся выборки значений $x_i, i = \overline{1, N}$:

$$D_N^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(x_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i\right)^2. \quad (11)$$

Результаты оценки методом Парзена–Розенблатта

№ п/п	Выборка, n	Медиана 50 %, дет.	Квантиль 20 %, дет.	Вероятность отказа ≤ 50 дет., %
1	20	52	30	46,92
2	20	79	47	23,15
3	8	42	27	63,13
4	20	62	47	21,87
5	20	95	71	0,45
6	20	50	19	45,9
7	20	0	0	0
8	20	0	0	0
9	20	0	0	5

В работе [16] представлены результаты верификации задачи восстановления методами непараметрической статистики функции плотности распределения случайной величины, имеющей нормальный закон распределения, путем сопоставления значений квантильных оценок случайной величины на левом и правом хвостах распределения. Данные результаты свидетельствуют, что погрешности этих оценок, рассчитанных параметрическими и непараметрическими методами статистики, в диапазоне длины выборки от 20 до 2000 значений являются величинами одного порядка. Это позволяет применять методы непараметрической статистики для решения задач, оперирующими небольшими выборками, но характеризующихся высокой важностью и ответственностью при принятии решений.

В данном исследовании по результатам работы сборного режущего инструмента со сменными многогранными пластинами авторами произведена оценка риска снижения его работоспособности, где в качестве предельного значения количества обработанных деталей одной пластиной для расчета вероятности отказа, исходя из расчетных показателей, принято значение 50 деталей, для каждого инструмента в соответствии с его параметрами.

Основные результаты и выводы. Результаты производственного эксперимента выявили приемлемые показатели работы сборного режущего инструмента со сменными пластинами круглой формы как с креплением рычажным прижимом, так и с типом крепления винтом. При этом инструмент с пластинами квадратной формы показал себя намного хуже, не достигнув предельного значения количества обработанных деталей. Поэтому для дальнейшего расчета вероятности отказа по данным исследования для выборки, которая не подчиняется нормальному закону распределения, а также квантильные оценки, вычисленные посредством численного интегрирования, представлены для сборного режущего инструмента со сменными многогранными пластинами круглой формы (табл. 3).

Квантильные оценки, вычисленные посредством численного интегрирования, показывают, какое количество деталей будет обработано и с какой вероятностью произойдет отказ инструмента на данном этапе. Так, с вероятностью 20 % инструментом № 2 будет обработано 47 деталей до выхода его из строя, инструментом № 5 будет обработана

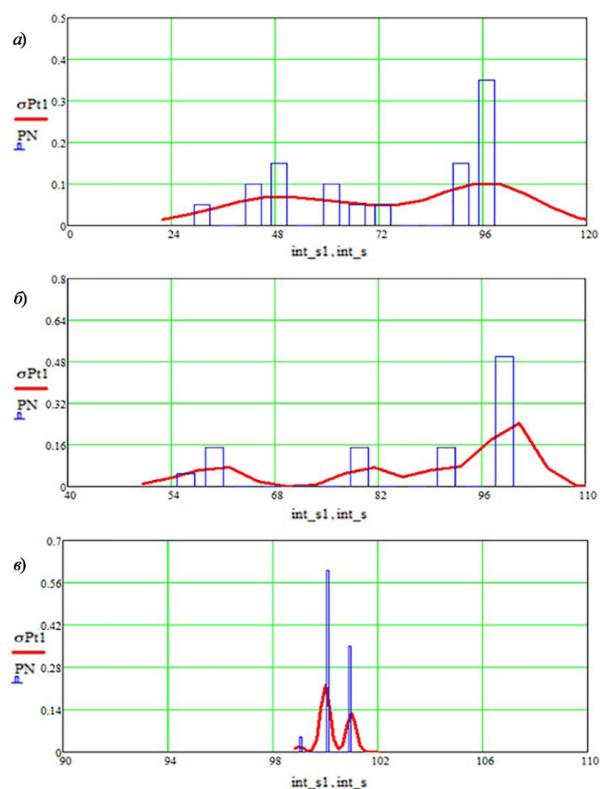


Рис. 1. Функция плотности распределения работы сборного режущего инструмента

71 деталь, а инструментами SRDCN-4040S20-M (RCMX 2006 MOS) с пластинами из сплавов BK6M, BK8 и T15K6 будет обработано количество деталей, значительно превышающее критическое значение. В данном случае риск может быть идентифицирован как возможность. На основе полученной информации можно принимать решение о выборе инструмента с определенной геометрией и из соответствующего сплава.

На основе с результатов, полученных в ходе восстановления функции плотности распределения (ФПР) методом Парзена–Розенблатта и определения оптимальной величины параметра размытости, представленными в табл. 3, проведено компьютерное моделирование. Гистограмма и восстановленная ФПР для сборного режущего инструмента со сменными многогранными пластинами представлены на рис. 1 для инструмента: а) PRDCN-4040S20 (12227–2006 M03 сплав BK8), б) SRDCN-4040S20 (12227–2006 M03 сплав BK8), в) SRDCN-4040S20-M (12227–2006 M03 сплав BK8), показавшие в своей группе наилучшие результаты (рис. 1).

Как можно заметить, представленная на рис. 1 функция плотности распределения является несимметричной, и ее форма не подчиняется законам нормального распределения. При этом вид ФПР для режущего инструмента с разными параметрами значительно отличается.

Полученные авторами результаты в ходе применения методов математического моделирования помогают оценить вероятность отказа режущего инструмента и сделать выводы о приемлемости его применения на определенной операции.

Библиографический список

1. Артамонов Е. В., Василега Д. С., Трифонов В. Б. Выбор инструментального твердого сплава по обрабатываемому

материалу на основе физико-механических характеристик. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. нефтегазового ун-та, 2010. 127 с.

2. Зорин В. А., Пегачков А. А. Оценка надежности и рисков изделий машиностроения по результатам диагностирования // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 2. С. 37–43.

3. Liang X., Liu. Z., Wang B. Multi-pattern failure modes and wear mechanisms of WC-Co tools in dry turning Ti-6Al-4V // CERAMICS International. 2020. Vol. 15, no. 46. P. 24512–24525. DOI: 10.1016/j.ceramint.2020.06.238.

4. Inta M., Muntean A. Researches regarding introducing temperature as a factor in cutting tool wear monitoring // 22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy (IManE&E). 2018. Vol. 178 (7-8). 01013. DOI: 10.1051/mateconf/201817801013.

5. Артамонов Е. В., Василега Н. А. Методика оценки рисков и возможностей при эксплуатации сборных режущих инструментов // Инновации в машиностроении (ИнМаш-2021): сб. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящен. памяти А-ра техн. наук, проф. Рахимьянова Хариса Магсумановича / под ред. С. И. Василевской, Ю. С. Кудрявцевой. Новосибирск, 2021. С. 137–142.

6. Артамонов Е. В., Василега Д. С. Анализ возможности применения зависимостей физико-механических характеристик материалов от температуры для определения температуры максимальной обрабатываемости материала // Омский научный вестник. 2008. № 4 (73). С. 56–58.

7. Василега Н. А. Факторы, влияющие на работоспособность металлорежущих инструментов // Научный потенциал молодежных исследований: сб. ст. III Междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск, 2021. С. 19–23.

8. ГОСТ Р 59472–2021 (ИСО 5608:2012). Резцы токарные и копировальные и резцы-вставки с механическим креплением сменных многогранных пластин. Обозначение. Введ. 2021–04–29. Москва: Стандартинформ, 2021. 15 с.

9. ГОСТ 19042–80 (ИСО 1832–85). Пластины сменные многогранные. Классификация. Система обозначений. Формы. Введ. 1982–01–01. Москва: Стандартинформ, 2006. 19 с.

10. ГОСТ Р ИСО 5479–2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. Введ. 2002–07–01. Москва: Госстандарт России, 2002. 31 с.

11. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. Москва: Наука, 1983. 436 с.

12. Александровская Л. Н., Кириллин А. В., Кербер О. Б. Выбор ряда критериев проверки отклонения распределения вероятностей от нормального закона в практике инженерного статистического анализа // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. 2017. № 1. С. 42–52.

13. Shapiro S. S., Wilki M. B. An analysis of variance test for normality // Biometrika. 1965. Vol. 52, № 3. P. 591–611.

14. Воронов И. В., Мухометзянов Р. Н., Краснова А. А. Выбор ширины окна при аппроксимации плотности распределения вероятности методом Парзена–Розенблатта в случае малого объема выборки // Радиоэлектронная техника. 2016. № 1 (9). С. 93–98.

15. Сызранцев В. Н., Невелев Я. П., Голофаст С. А. Расчет прочностной надежности изделий на основе методов непараметрической статистики: моногр. Новосибирск: Наука, 2008. 218 с. ISBN 978-5-02-032151-9.

16. Поршнева С. В., Копосов А. С., Березовик Е. И. Сравнительный анализ методов Розенблатта–Парзена и структурной минимизации риска для аппроксимации плотностей вероятностей случайных величин // Cloud of Science. 2019. Т. 6, № 2. С. 186–200.

17. Никулин В. С., Пестунов А. И. Аппроксимация плотности распределения времени работы между отказами вычислительной системы непараметрическим методом Розенблатта–Парзена // Вестник Воронежского государственного

технического университета. 2022. Т. 18, № 1. С. 36–41. DOI: 10.36622/VSTU.2022.18.1.004.

18. Сызранцев В. Н., Антонов М. Д. Восстановление функции плотности распределения предельных напряжений материала газопровода на основе значений их квантильных оценок // Газовая промышленность. 2020. № 12 (810). С. 86–93.

19. Сызранцев В. Н., Сызранцева К. В. Обработка данных многоцикловых испытаний на основе кинетической теории усталости и методов непараметрической статистики: моногр. Тюмень: Изд-во Тюменского индустриального ун-та, 2015. 135 с. ISBN 978-5-9961-1148-0.

20. Сызранцева К. В., Ильиных В. Н., Колбасин Д. С. Оценка вероятности отказа редуктора системы верхнего привода буровой установки с учетом режима его эксплуатации // Известия высших учебных заведений. Нефть и Газ. 2019. № 3 (135). С. 127–134. DOI: 10.31660/0445-0108-2019-3-127-134.

СЫЗРАНЦЕВА Ксения Владимировна, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры кибернетических систем Тюменского индустриального университета (ТИУ), г. Тюмень.
SPIN-код: 6025-3484
AuthorID (РИНЦ): 146813

ORCID: 0000-0002-9616-4661

AuthorID (SCOPUS): 503929784

ResearcherID: K-7962-2019

Адрес для переписки: v.syzr@gmail.com

ВАСИЛЕГА Наталья Александровна, ассистент кафедры «Станки и инструменты» ТИУ, г. Тюмень.

Адрес для переписки: natashavasilega@mail.ru

SPIN-код: 4013-6572

AuthorID (РИНЦ): 947674

ORCID: 0000-0002-9761-3342

AuthorID (SCOPUS): 57202383857

ResearcherID: HKV-9290-2023

Адрес для переписки: natashavasilega@mail.ru

Для цитирования

Сызранцева К. В., Василега Н. А. Оценка вероятности отказа при эксплуатации сборного режущего инструмента со сменными многогранными пластинами методами непараметрической статистики // Омский научный вестник. 2023. № 2 (186). С. 35–43. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-35-43.

Статья поступила в редакцию 01.02.2023 г.

© К. В. Сызранцева, Н. А. Василега



ESTIMATION OF THE PROBABILITY OF FAILURE DURING OPERATION OF A PREFABRICATED CUTTING TOOL WITH REPLACEABLE POLYHEDRAL PLATES BY NONPARAMETRIC STATISTICS METHODS

The article discusses the issues of durability of a prefabricated cutting tool in the process of metal cutting, as well as the risk of loss of its operability. In the course of assessing the probability of tool failure in violation of the established wear criterion, the results of a production experiment are used when roughing the Shaft part made of a rod with a diameter of $\varnothing 58$ mm made of HN77TYUR alloy. The processing of the part is carried out with a prefabricated cutting tool with replaceable polyhedral plates of round and square shape, having a special type of alloys: VK6m, VK8 and T15K6. To evaluate the results obtained and describe their distribution, the authors use the Shapiro–Wilk agreement criterion to check the correlation between the initial data and the corresponding assumption of their normal distribution. Since the obtained production test data do not obey the normal distribution law, the nonparametric Parsen–Rosenblatt method is used for further analysis.

Keywords: prefabricated cutting tool, replaceable polyhedral plates, operability, failure probability, Shapiro–Wilk agreement criterion, nonparametric statistics, Parsen–Rosenblatt method, distribution density function.

References

1. Artamonov E. V., Vasilega D. S., Trifonov V. B. Vybor instrumental'nogo tverdogo splava po obrabatyvayemomu materialu na osnove fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik [Selection of tool hardness according to the material to be machined, based on physical and mechanical properties]. Tyumen, 2010. 127 p. (In Russ.).
2. Zorin V. A., Pegachkov A. A. Otsenka nadezhnosti i riskov izdeliy mashinostroyeniya po rezul'tatam diagnostirovaniya [Assessment of reliability and risks of products of mechanical engineering by results of diagnosing] // Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii. *Engineering and Automation Issues*. 2020. No. 2. P. 37–43. (In Russ.).
3. Liang X., Liu Z., Wang B. Multi-pattern failure modes and wear mechanisms of WC-Co tools in dry turning Ti-6Al-4V // CERAMICS International. 2020. Vol. 15, no. 46. P. 24512–24525. DOI:10.1016/j.ceramint.2020.06.238. (In Engl.).
4. Inta M., Muntean A. Researches regarding introducing temperature as a factor in cutting tool wear monitoring // 22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy (IManE&E). 2018. Vol. 178 (7-8). 01013. DOI: 10.1051/mateconf/201817801013. (In Engl.).
5. Artamonov E. V., Vasilega N. A. Metodika otsenki riskov i vozmozhnostey pri ekspluatatsii sbornykh rezhushchikh instrumentov [Methodology for assessing risks and opportunities in the operation of prefabricated cutting tools] // Innovatsii v mashinostroyenii (InMash-2021). *Innovation in Mechanical Engineering (InMash-2021)* / Ed. by S. I. Vasilevskoy, Yu. S. Kudryavtsevov. Novosibirsk, 2021. P. 137–142. (In Engl.).
6. Artamonov E. V., Vasilega D. S. Analiz vozmozhnosti primeneniya zavisimostey fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik materialov ot temperatury dlya opredeleniya temperatury maksimal'noy obrabatyvayemosti materiala [Analysis of the possibility of applying temperature dependences of the physical-mechanical characteristics of materials to determine the temperature of maximum machinability of the material] // Omskiy nauchnyy vestnik. *Omsk Scientific Bulletin*. 2008. No. 4 (73). P. 56–58. (In Russ.).
7. Vasilega N. A. Faktory, vliyayushchiye na rabotosposobnost' metallovezhushchikh instrumentov [Factors affecting the performance of metal-cutting tools] // Nauchnyy potentsial molodezhnykh issledovaniy. *Scientific Potential of Youth Research*. Petrozavodsk, 2021. P. 19–23. (In Russ.).
8. GOST R 59472–2021 (ISO 5608:2012). Reztzy tokarnyye i kopiroval'nyye i reztzy-vstavki s mekhanicheskim krepleniyem smennykh mnogogrannykh plastin. Oboznacheniy [Turning and copying tool holders and cartridges for indexable inserts. Designation]. Moscow, 2021. 15 p. (In Russ.).
9. GOST 19042–80 (ISO 1832–85). Plastiny smennyye mnogogrannyye. Klassifikatsiya. Sistema oboznacheniy. Formy [Throw-away (indexable) inserts. Classification. Notation. Forms]. Moscow, 2006. 19 p. (In Russ.).
10. GOST R ISO 5479–2002. Statisticheskiye metody. Proverka otkloneniya raspredeleniya veroyatnostey ot normal'nogo raspredeleniya [Statistical methods. Tests for departure of the

probability distribution from the normal distribution]. Moscow, 2002. 31 p. (In Russ.).

11. Bol'shev L. N., Smirnov N. V. *Tablitsy matematicheskoy statistiki* [Mathematical statistics tables]. Moscow, 1983. 436 p. (In Russ.).

12. Aleksandrovskaya L. N., Kirillin A. V., Kerber O. B. *Vybor ryada kriteriyev proverki otkloneniya raspredeleniya veroyatnostey ot normal'nogo zakona v praktike inzhenernogo statisticheskogo analiza* [Selection of a number of criteria for checking the deviation of the probability distribution from the normal law in the practice of statistical engineering analysis] // *Trudy FGUP «NPTSAP». Sistemy i pribory upravleniya. Trudy FGUP «NPTSAP». Sistemy i Pribory Upravleniya*. 2017. No. 1. P. 42–52. (In Russ.).

13. Shapiro S. S., Wilk M. B. An analysis of variance test for normality // *Biometrika*. 1965. Vol. 52, no. 3. P. 591–611. (In Engl.).

14. Voronov I. V., Mukhometzyanov R. N., Krasnova A. A. *Vybor shiriny okna pri approksimatsii plotnosti raspredeleniya veroyatnosti metodom Parzena-Rozenblatta v sluchaye malogo ob'yema vyborki* [Selection of window width when approximating probability density functions by the Parzen-Rosenblatt method in the case of small sample sizes] // *Radioelektronnaya tekhnika. Radio-electronic Engineering*. 2016. No. 1 (9). P. 93–98. (In Russ.).

15. Syzrantsev V. N., Nevelev Ya. P., Golofast S. L. *Raschet prochnostnoy nadezhnosti izdeliy na osnove metodov neparametricheskoy statistiki* [Calculation of the strength reliability of products based on non-parametric statistical methods]. Novosibirsk, 2008. 218 p. ISBN 978-5-02-032151-9. (In Russ.).

16. Porshnev S. V., Koposov A. S., Berezovik E. I. *Sravnitel'nyy analiz metodov Rozenblatta-Parzena i strukturnoy minimizatsii riska dlya approksimatsii plotnostey veroyatnostey sluchaynykh velichin* [Comparative analysis of Rosenblatt–Parzen method and structural risk minimization method for approximation of the probability density functions of random variables] // *Cloud of Science. Cloud of Science*. 2019. Vol. 6, no. 2. P. 186–200. (In Russ.).

17. Nikulin V. S., Pestunov A. I. *Approksimatsiya plotnosti raspredeleniya vremeni raboty mezhdu otkazami vychislitel'noy sistemy neparametricheskimi metodami Rozenblatta-Parzena* [Approximation of the distribution density of time between failures of a computing system by the Rosenblatt–Parzen nonparametric method] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2022. Vol. 18, no. 1. P. 36–41. DOI: 10.36622/VSTU.2022.18.1.004. (In Russ.).

18. Syzrantsev V. N., Antonov M. D. *Vosstanovleniye funktsii plotnosti raspredeleniya predel'nykh napryazheniy materiala*

gazoprovoda na osnove znacheniy ikh kvantil'nykh otsenok [Restoring the density function of ultimate stresses distribution in gas pipeline material based on their quantile estimates] // *Gazovaya promyshlennost'. Gazovaya Promyshlennost'*. 2020. No. 12 (810). P. 86–93. (In Russ.).

19. Syzrantsev V. N., Syzrantseva K. V. *Obrabotka dannykh mnogotsiklovyykh ispytaniy na osnove kineticheskoy teorii ustalosti i metodov neparametricheskoy statistiki* [Data processing of multi-cycle tests based on the kinetic theory of fatigue and methods of nonparametric statistics]. Tyumen, 2015. 135 p. ISBN 978-5-9961-1148-0. (In Russ.).

20. Syzrantseva K. V., Il'inykh V. N., Kolbasin D. S. *Otsenka veroyatnosti otkaza reduktora sistemy verkhnego privoda burovoy ustanovki s uchetom rezhima yego ekspluatatsii* [Assessing the failure probability of gearhead of drilling rig top drive system taking into account the mode of its operation] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i Gaz. Oil and Gas Studies*. 2019. No. 3 (135). P. 127–134. DOI: 10.31660/0445-0108-2019-3-127-134. (In Russ.).

SYZRANTSEVA Kseniya Vladimirovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Cyber Systems Department, Industrial University of Tyumen (IUT), Tyumen.

SPIN-code: 6025-3484

AuthorID (RSCI): 146813

ORCID: 0000-0002-9616-4661

AuthorID (SCOPUS): 503929784

ResearcherID: K-7962-2019

Correspondence address: v.syzr@gmail.com

VASILEGA Natalya Aleksandrovna, Assistant of Machines and Tools Department, IUT, Tyumen.

SPIN-code: 4013-6572

AuthorID (RSCI): 947674

ORCID: 0000-0002-9761-3342

AuthorID (SCOPUS): 57202383857

ResearcherID: HKV-9290-2023

Correspondence address: natashavasilega@mail.ru

For citations

Syzrantseva K. V., Vasilega N. A. Estimation of the probability of failure during operation of a prefabricated cutting tool with replaceable polyhedral plates by nonparametric statistics methods // *Omsk Scientific Bulletin*. 2023. No. 2 (186). P. 35–43. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-35-43.

Received February 01, 2023.

© K. V. Syzrantseva, N. A. Vasilega