

УДК 621.771

**АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ РАССЕЯНИЯ РЕСУРСА КОЛЬЦЕВОЙ ГАЛТЕЛИ  
ПРОКАТНОГО ВАЛКА****Андрей Анатольевич Мальцев**доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана  
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Аннотация**

По точечной диаграмме рассеяния построены столбчатая гистограмма и полигон (многоугольник) распределения ресурса кольцевой галтели. Гипотеза о нормальном распределении ресурса отвергнута по критерию Пирсона.

**Ключевые слова:** металлургия, статистика, ресурс.

**ANALYSIS OF THE SCATTERING DIAGRAM OF THE ROLLING ROLL  
ANNULAR GALTEL RESOURCE****Andrey A. Maltsev**Associate Professor of BMSTU ФН-7 and МТ-10 Departments  
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**ABSTRACT**

A columnar histogram and a polygon of the resource distribution of the annular galtel are constructed, according to the scatter dot diagram. The hypothesis of a normal resource distribution is rejected by the Pearson criterion.

**Keywords:** metallurgy, statistics, resource.

**Актуальность и цель исследования**

Объект исследования – точечная диаграмма рассеяния ресурса кольцевой галтели прокатного валка (рис. 1).

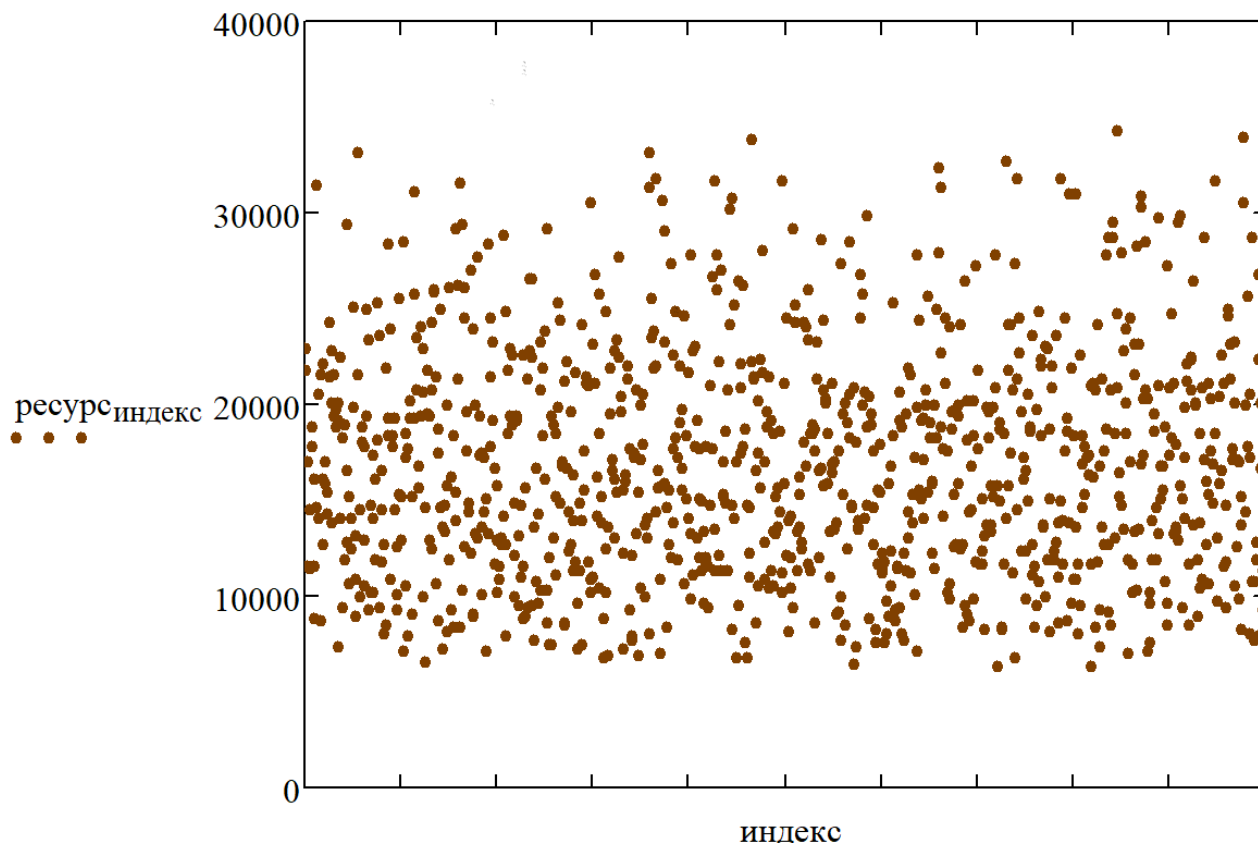


Рисунок 1. Точечная диаграмма рассеяния ресурса:  
1000 розыгрышей методом Монте-Карло

Ресурс выражен количеством металлических заготовок, прокатанных с момента начала эксплуатации валка до момента образования макроскопической трещины в области кольцевой галтели [1].

**Цель исследования** — разработка методических указаний к выполнению виртуальной лабораторной работы на тему «Вероятностное прогнозирование циклического ресурса рабочего валка», предусмотренной рабочей программой дисциплины «Основы динамики и надежности металлургического оборудования» для специальности «Проектирование технологических машин и комплексов».

#### **Материалы и методы исследования**

Имеется столбчатая гистограмма распределения ресурса, которая построена на основании точечной диаграммы рассеяния ресурса, чтобы визуально оценить величину и характер разброса данных (рис. 2).

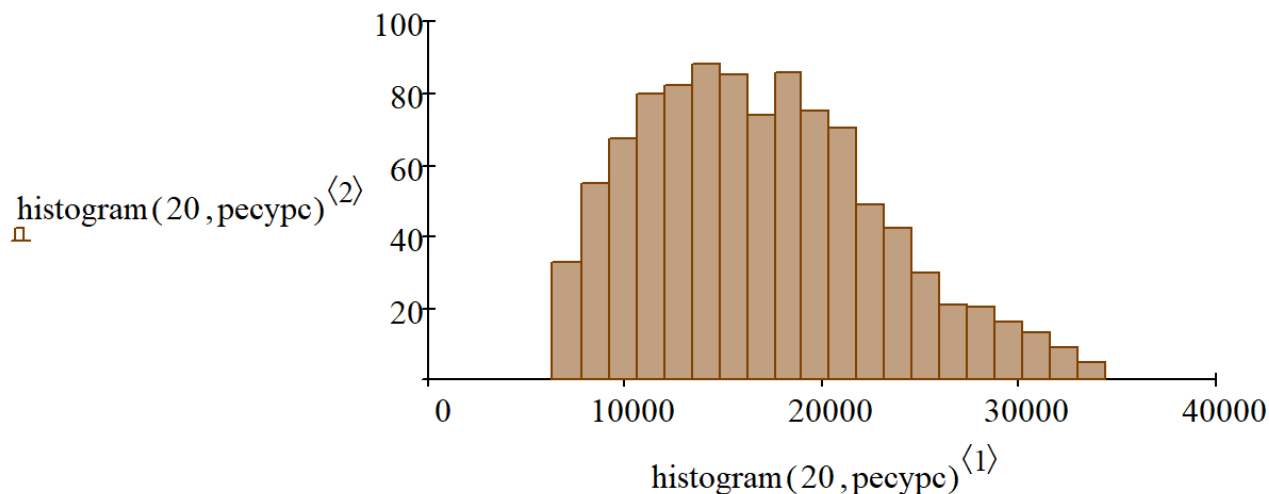


Рисунок 2. Гистограмма распределения ресурса: разбиение на 20 столбцов одинаковой ширины

Имеется полигон распределения частот ресурса, представляющий собой ломаную, соединяющую точки, соответствующие срединным значениям интервалов группировки и частотам этих интервалов (рис. 3).

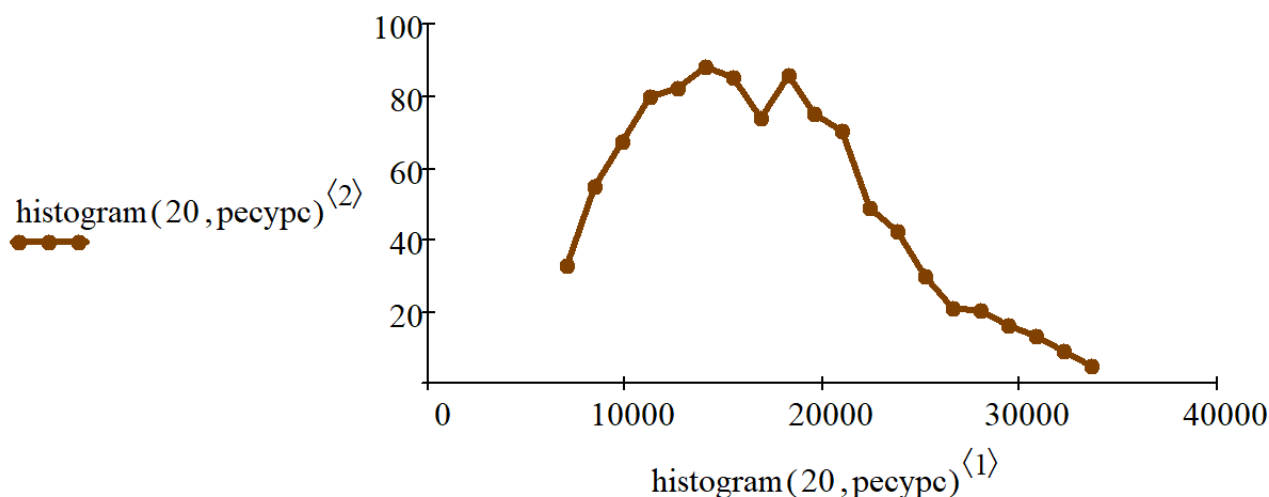


Рисунок 3. Полигон распределения частот ресурса

Полигон, отображенный в среде MathCAD в стиле таблицы, содержит исходные данные (выборку из генеральной совокупности) для тестирования на предмет соответствия нормальному закону распределения:

$$\text{полигон} := \text{histogram}(20, \text{ресурс})$$

	1	2	
1	7030	33	
2	8429	55	
3	9827	67	
4	11226	80	
5	12625	82	
6	14024	88	
7	15423	85	
8	16821	74	
9	18220	86	
ПОЛИГОН =	10	19619	75
	11	21018	70
	12	22417	49
	13	23815	42
	14	25214	30
	15	26613	21
	16	28012	20
	17	29411	16
	18	30809	13
	19	32208	9
	20	33607	5

Тестирование выполнено с учетом рекомендаций ГОСТ Р 50779.21-2004 «Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение».

#### **Результаты исследования и выводы**

Построен вектор-столбец ресурсов, выраженных количеством прокатанных заготовок до разрушения галтели (середины интервалов гистограммы):

ресурс :=

7030
8429
9827
11226
12625
14024
15423
16821
18220
19619
21018
22417
23815
25214
26613
28012
29411
30809
32208
33607

Построен вектор-столбец частот попаданий случайной величины ресурса, разыгранного методом Монте-Карло, в интервалы гистограммы:

частота :=	( 33 )
	55
	67
	80
	82
	88
	85
	74
	86
	75
	70
	49
	42
	30
	21
	20
	16
	13
	9
	5

Найдено выборочное среднее:

$$\text{среднее} := \frac{1}{1000} \cdot \sum_{i=1}^{20} (\text{ресурс}_i \cdot \text{частота}_i)$$

$$\text{среднее} = 16890$$

Найдена выборочная исправленная дисперсия:

$$S2 := \frac{1}{1000 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{20} [(\text{среднее} - \text{ресурс}_i)^2 \cdot \text{частота}_i]$$

$$S2 = 35976603$$

Выборочное исправленное среднее квадратическое отклонение:

$$S := \sqrt{S2}$$

$$S = 5998$$

Вычислен шаг между ступенями гистограммы (углами полигона):

$$\text{шаг} := \text{ресурс}_2 - \text{ресурс}_1 \rightarrow 1399$$

Далее:

$$u := \frac{\text{ресурс} - \text{среднее}}{S}$$

$$u = \begin{pmatrix} -1.644 \\ -1.411 \\ -1.178 \\ -0.944 \\ -0.711 \\ -0.478 \\ -0.245 \\ -0.011 \\ 0.222 \\ 0.455 \\ 0.688 \\ 0.921 \\ 1.155 \\ 1.388 \\ 1.621 \\ 1.854 \\ 2.088 \\ 2.321 \\ 2.554 \\ 2.787 \end{pmatrix}$$

$$\varphi := \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(\frac{-1}{2} \cdot u^2\right)$$

$$\varphi = \begin{pmatrix} 0.103 \\ 0.148 \\ 0.199 \\ 0.255 \\ 0.31 \\ 0.356 \\ 0.387 \\ 0.399 \\ 0.389 \\ 0.36 \\ 0.315 \\ 0.261 \\ 0.205 \\ 0.152 \\ 0.107 \\ 0.071 \\ 0.045 \\ 0.027 \\ 0.015 \\ 0.008 \end{pmatrix}$$

Вычислены теоретические частоты:

$$n_0 := \frac{1000 \cdot \text{шаг}}{S} \cdot \varphi$$

$$n_0 = \begin{pmatrix} 24.1 \\ 34.41 \\ 46.52 \\ 59.58 \\ 72.27 \\ 83.01 \\ 90.31 \\ 93.04 \\ 90.79 \\ 83.9 \\ 73.43 \\ 60.86 \\ 47.78 \\ 35.52 \\ 25.01 \\ 16.68 \\ 10.53 \\ 6.3 \\ 3.57 \\ 1.91 \end{pmatrix}$$

Найдено наблюдаемое значение критерия Пирсона

$$\chi^2_{\text{набл}} := \sum_{i=1}^{20} \frac{(\text{частота}_i - n_{0i})^2}{n_{0i}}$$

$$\chi^2_{\text{набл}} = 67$$

Пусть уровень значимости равен 0,05.

Число степеней свободы равно 17 (20 минус 3), поскольку при использовании критерия Пирсона число степеней свободы равно  $20 - 1 - r$ , где  $r$  равно числу параметров, оцениваемых по выборке. Для нормального распределения двумя параметрами являются математическое ожидание (выборочное среднее) и среднее квадратическое отклонение.

**Вывод:** гипотеза о нормальном распределении ресурса кольцевой галтели прокатного валка отвергнута по таблице критических точек распределения хи-квадрат (табл. 1), поскольку наблюдаемое значение критерия Пирсона, равное 67, значительно превышает критические значения при любом уровне значимости.

Таблица 1

Критические точки распределения хи-квадрат

Число степеней свободы	Уровень значимости					
	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99
1	6,6	5	3,8	0,0039	0,00098	0,00016
2	9,2	7,4	6	0,103	0,051	0,02
3	11,3	9,4	7,8	0,352	0,216	0,115
4	13,3	11,1	9,5	0,711	0,484	0,297
5	15,1	12,8	11,1	1,15	0,831	0,554
6	16,8	14,4	12,6	1,64	1,24	0,872
7	18,5	16	14,1	2,17	1,69	1,24
8	20,1	17,5	15,5	2,73	2,18	1,65
9	21,7	19	16,9	3,33	2,7	2,09
10	23,2	20,5	18,3	3,94	3,25	2,56
11	24,7	21,9	19,7	4,57	3,82	3,05
12	26,2	23,3	21,0	5,23	4,4	3,57
13	27,7	24,7	22,4	5,89	5,01	4,11
14	29,1	26,1	23,7	6,57	5,63	4,66
15	30,6	27,5	25	7,26	6,26	5,23
16	32	28,8	26,3	7,96	6,91	5,81
17	33,4	30,2	27,6	8,67	7,56	6,41
18	34,8	31,5	28,9	9,39	8,23	7,01
19	36,2	32,9	30,1	10,1	8,91	7,63
20	37,6	34,2	31,4	10,9	9,59	8,26
21	38,9	35,5	32,7	11,6	10,3	8,9
22	40,3	36,8	33,9	12,3	11	9,54
23	41,6	38,1	35,2	13,1	11,7	10,2
24	43	39,4	36,4	13,8	12,4	10,9
25	44,3	40,6	37,7	14,6	13,1	11,5
26	45,6	41,9	38,9	15,4	13,8	12,2
27	47	43,2	40,1	16,2	14,6	12,9
28	48,3	44,5	41,3	16,9	15,3	13,6
29	49,6	45,7	42,6	17,7	16	14,3
30	50,9	47	43,8	18,5	16,8	15

**Список литературы:**

1. Мальцев А.А. Исследование усталостной прочности кольцевой галтели прокатного вала методом Монте-Карло. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2022. Т.12, №6. С.318–328. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-6-2022/a230689>

**References:**

1. Maltsev A.A. Investigation of the fatigue strength of the annular gatel of a rolling roll by the monte carlo method. – [Electronic resource] Original research (ORIS), 2022, Vol.12, No.06. – Pp.318–328. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-6-2022/a230689> [in Russian].