

## Анализ эксплуатационной пригодности резисторов после установленного срока хранения

**Польщиков Иван Сергеевич,**

бакалавр, ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия, halkivan007@inbox.ru

**Осипов Григорий Вячеславович,**

бакалавр, ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия, halkivan007@inbox.ru

**Федосова Анастасия Андреевна**

магистр, СлбГУТ, г. Санкт-Петербург, Россия, halkivan007@inbox.ru

**Дворников Сергей Викторович**

доктор технических наук, профессор, ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия, halkivan007@inbox.ru

### АННОТАЦИЯ

---

**Введение:** В работе представлен анализ результатов измерения текущего номинала 200 сопротивлений контрольной выборки резисторов, изъятых случайным образом из партии изделий количеством 20 000 штук, на соответствие их номиналов, заявляемым значениям с учетом допустимого разброса параметров. **Постановка задачи:** на основе частного критерия согласия, характеризующего коэффициент асимметрии распределения, сформированного на основе измеренных значений сопротивлений из контрольной выборки, установить их соответствие функции распределения нормального закона, тем самым подтвердить применимость полученных результатов ко всей партии электронных компонентов. И определить целесообразность дальнейшего использования всей партии резисторов после проведения дополнительной отбраковки при изготовлении изделий, для которых требования к элементной базе определены на основе технических условий, а не ГОСТ. **Методы:** методы прямых измерений, метод статистического анализа, частные критерии согласия и методы индукции и дедукции системного анализа. **Результаты:** осуществлена вербальная и математическая постановка научной задачи на исследование, проведены измерения контрольной выборки 200 резисторов, построена гистограмма распределения измеренных значений сопротивлений, для которой рассчитаны математическое ожидание и дисперсия, построена функция плотности распределения нормального закона со статистическими параметрами измеренных значений сопротивлений, рассчитаны параметры частного критерия согласия  $\alpha_3$ , используя критерий согласия на основе коэффициента асимметрии распределения получена оценка соответствия гистограммы распределения измеренных значений сопротивлений функции плотности распределения нормального закона с такими же параметрами, сформулированы предложения по дальнейшему использованию партии из 20 000 резисторов. **Практическая значимость:** установлено соответствие закона деградации параметров резисторов, обусловленной естественным старением материалов, теоретическим предположениям, получено процентное соотношение непригодных резисторов равное 6,5% по истечению 33 лет их хранения. **Обсуждение:** для конкретной партии из 20 000 резисторов установлено целесообразность после их использования процедур отбраковки в изделиях, предъявляющих требования только по соответствию заявляемому номиналу.

---

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** измерение номинального значения сопротивления, статистическая обработка результатов измерения, математическое ожидание, дисперсия, функция распределения, критерий согласия  $\alpha_3$ .

## Введение

Технологическое оснащение такой основополагающей отрасли машиностроения как приборостроение, в Советском Союзе было отнесено к числу приоритетных задач, направленных на развитие промышленности страны [1]. При этом технологиям производства радиокомпонентов уделялось повышенное внимание, в результате чего промышленный выпуск элементной базы был отлажен во всех индустриально развитых регионах страны [2]. Именно поэтому с того времени осталось множество радиоэлектронных компонентов, которые используются до сих пор. Вместе с тем введенные санкции со стороны стран Запада привели к необходимости поиска элементной базы для промышленного производства [3].

В связи с этим актуальным видится рассмотрение возможности использования имеющихся запасов радиодеталей, сохранившихся с советских времен.

Однако с момента производства многих компонентов прошло более 30 лет, поэтому актуальным видится проведения исследований в интересах оценки их состояния с позиций соответствия их истинных значений заявляемым номиналам.

В результате долгого хранения у части радиодеталей может наблюдаться отклонение их технических параметров от предъявляемых требований, что обусловлено естественным старением материалов. Но поскольку ряд современных ТУ допускает использование отдельных компонентов, исходя лишь из соответствия их заявляемых номиналов, то актуальным видится целесообразность использования имеющейся элементной базы, с учетом проведения дополнительной отбраковки.

С таких позиций практический интерес представляют результаты оценки предстоящих масштабов необходимой отбраковки, с учетом реального остатка пригодных деталей.

С учетом указанных обстоятельств, в настоящей статье представлены результаты оценки исследования соответствие номинальных значений сопротивлений контрольной выборки в количестве двухсот резисторов серии МЛТ-0,25 Вт 2,4 кОм их заявляемым значениям, определяемых требованиями ГОСТ 5.172-75 (Резисторы постоянные металлодиэлектрические типов МЛТ и МТ мощностные рассеяния до 2 Вт. Требования к качеству аттестованной продукции), случайным образом отобранных из партии общим объемом 20 000 деталей изготовленных в 1990 году (резисторы хранились в отапливаемом помещении и ранее не использовались).

В соответствии с ГОСТ 27.002-2015 (Надежность в технике. Термины и определения), проведенное исследование можно рассматривать как мониторинг технического состояния изделий. Поскольку согласно указанного ГОСТ, целью такого мониторинга является получение информации о рабочих параметрах объекта (в данной ситуации – резисторов).

## Целевая установка

Резисторы являются неотъемлемой частью любого радиоэлектронного устройства, поэтому от правильности их выбора во многом зависит продолжительность последующих отладочных работ, что существенно сказывается на конечной стоимости изделий и их надежности [5]. Более того, применение резисторов несоответствующих значениям заявляемых номиналов может впоследствии привести к выходу из строя изделия в процессе его эксплуатации, что негативно скажется на имидже предприятия [6].

Вместе с тем длительное хранение радиоэлектронных компонентов приводит к естественному старению материалов, в результате которого происходит изменение их физиче-

ских свойств, ведущих к изменению их основных параметров. Для резисторов основным параметром является номинальное сопротивление, которое может быть определено в результате обычного измерения. Поскольку, согласно [7], в результате естественного старения резисторов, изменение номиналов их сопротивлений определяется нормальным законом распределения для больших партий, то с одной стороны предоставляется уникальная возможность установления данного соответствия по результатам измерений контрольной партии изделий, посредством последующего проведения статистического анализа [8, 9], а с другой – получения оценки целесообразности использования такой партии, после проведения отбраковки некондиционных деталей.

Вопросам разработки математических моделей для прогнозирования показателей, характеризующих параметры резисторов и надежности их работы в процессе эксплуатации, посвящено большое количество работ. Среди которых научный интерес представляют прогнозные математические модели, представленные в [10]. А также модель многослойного пленочного контакта, учитывающая отклонения исходных значений резисторов, от их номиналов [11]. Анализ различных аспектов технического мониторинга сопротивлений металлов и сплавов, с позиций их практического использования [12, 13], позволяют судить о достаточно высокой надежности материалов, используемых, в том числе, и для изготовления сопротивлений. В качестве методической основы для проведения технического мониторинга были рассмотрены результаты, полученные в [14, 15].

Для эксперимента было предоставлена партия из 20 000 резисторов серии МЛТ-0,25 с заявляемым номинальным сопротивлением 2,4 кОм и допустимой погрешностью разброса параметров  $\pm 5\%$ , из числа которых случайным образом была отобрана контрольная выборка размеров в 200 элементов.

Резистор данной серии представляет собой металлопленочное изделие, состоящее из керамической трубчатой основы с жестко надетыми металлическими колпачками, к которым приварены медные провода для их пайки в изделии [16, 17]. Указанный тип резисторов находит широкое применение как с установкой на плате внутри радиоэлектронной аппаратуры, так и в производстве приборов с электрическим навесным монтажом [17].

Для проведения исследования была сформулирована следующая целевая установка:

в соответствии с требованиями состоятельности статистических результатов исследования, подвергнуть испытаниям не менее 200 резисторов из контрольной партии;

результаты измерений представить в виде гистограммы и на основе частного критерия согласия  $\alpha 3$  [11] и провести проверку ее соответствия нормальному закону распределения, характеризующего разброс параметров изделий, вызванных их естественным старением в результате хранения сверх допустимого срока, определяемым ГОСТ.

### **Методика испытаний**

Контрольная выборка из 200 резисторов МЛТ-0,25 Вт 2,4 кОм ГОСТ 5.172-75, изготовленных в 1990 г. отобрана случайным образом из партии в 20 000 изделий.

Для измерения номинальных значений использовался мультиметр марки Fluke 87V.

Измерение проведено в ручном режиме 3-3/4 знаков для 6000 единиц счета. Полученные значения занесены в таблицу.

Последовательность выполнения методики представлена в виде следующих этапов:

1. Проведение статистической обработки для выборки полученных значений измеренных номиналов сопротивлений резисторов, в соответствии с требованиями частного критерия согласия  $\alpha_3$  [18, 19]. Выбор критерия определен исходя из следующих соображений. Данный критерий относится к числу мощных критериев [20, 21]. И среди мощных критериев нормальности он занимает 6 позицию при анализе выборок размерностью больше трех, а 7 позицию – при оценке несимметричных распределений, что в общем рейтинге, ставит его на 4 место. При этом критерий достаточно просто реализуется при обработке результатов [22-24].

2. Построение графиков, характеризующих распределение гистограмм измеренных номинальных значений сопротивлений и функции нормального закона для рассчитанных статистических параметров распределения.

3. Установление соответствия функции распределения гистограмм, функции нормального закона в соответствии с требованиями частного критерия согласия  $\alpha_3$ .

4. Формулировка выводов и предложений по перспективам использования контрольной партии резисторов в количестве 20 000 штук.

### Анализ результатов проведенных измерений

В соответствии с представленной методикой было произведено измерение номиналов сопротивлений в ручном режиме, результаты которых сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты измерений номиналов резисторов с 1 по 100

№	R, кОм	№	R, кОм						
1	2,42	21	2,33	41	2,44	61	2,34	81	2,38
2	2,33	22	2,31	42	2,41	62	2,34	82	2,33
3	2,31	23	2,24	43	2,49	63	2,32	83	2,36
4	2,44	24	2,31	44	2,37	64	2,36	84	2,37
5	2,35	25	2,45	45	2,32	65	2,29	82	2,4
6	2,39	26	2,2	46	2,39	66	2,39	86	2,45
7	2,47	27	2,42	47	2,32	67	2,47	87	2,34
8	2,4	28	2,47	48	2,34	68	2,35	88	2,35
9	2,4	29	2,34	49	2,37	69	2,35	89	2,32
10	2,38	30	2,34	50	2,32	70	2,37	90	2,44
11	2,35	31	2,48	51	2,44	71	2,34	91	2,4
12	2,34	32	2,32	52	2,35	72	2,33	92	2,35
13	2,36	33	2,35	53	2,36	73	2,35	93	2,39
14	2,38	34	2,25	54	2,44	74	2,41	94	2,48
15	2,45	35	2,47	55	2,15	75	2,25	95	2,33
16	2,4	36	2,18	56	2,33	76	2,3	96	2,37
17	2,38	37	2,4	57	2,32	77	2,32	97	2,38
18	2,31	38	2,27	58	2,4	78	2,37	98	2,39
19	2,27	39	2,37	59	2,43	79	2,31	99	2,34
20	2,18	40	2,3	60	2,48	80	2,32	100	2,36

Далее были определены минимальная и максимальная измеренная величина, и весь диапазон значений разбит на 20 интервалов с шагом значений 0,023 кОм.

Затем в ходе статистической обработки была рассчитана:

число попаданий измеренных значений в каждый из интервалов  $m$ ;

частоту (вероятность) проявления измеренных значений в каждом интервале, т.е. отношение частоты одного интервала к общему количеству резисторов:

$$v = \frac{m}{n}, \tag{1}$$

где  $m$  – число (частота) попаданий,  $n$  – общее число измерений.

Полученные результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений номиналов резисторов с 101 по 20

№	R, кОм								
101	2,36	121	2,35	141	2,41	161	2,34	181	2,3
102	2,47	122	2,31	142	2,34	162	2,31	182	2,42
103	2,39	123	2,3	143	2,32	163	2,29	183	2,34
104	2,49	124	2,33	144	2,35	164	2,49	184	2,31
105	2,32	125	2,33	145	2,4	165	2,43	185	2,38
106	2,37	126	2,35	146	2,32	166	2,33	186	2,33
107	2,32	127	2,33	147	2,37	167	2,31	187	2,34
108	2,35	128	2,41	148	2,25	168	2,31	188	2,32
109	2,43	129	2,42	149	2,41	169	2,34	189	2,37
110	2,37	130	2,42	150	2,32	170	2,34	190	2,34
111	2,36	131	2,33	151	2,31	171	2,35	191	2,33
112	2,47	132	2,34	152	2,34	172	2,32	192	2,61
113	2,34	133	2,32	153	2,34	173	2,35	193	2,42
114	2,49	134	2,34	154	2,27	174	2,33	194	2,3
115	2,38	135	2,41	155	2,32	175	2,42	195	2,42
116	2,32	136	2,5	156	2,29	176	2,45	196	2,33
117	2,32	137	2,34	157	2,46	177	2,39	197	2,37
118	2,37	138	2,34	158	2,35	178	2,46	198	2,37
119	2,31	139	2,35	159	2,31	179	2,28	199	2,42
120	2,49	140	2,4	160	2,38	180	2,34	200	2,32

Таблица 3 – Значения частоты и частотности попаданий

№	$m$	$v$	№	$m$	$v$
1	1,00	0,005	11	16,00	0,08
2	2,00	0,01	12	15,00	0,075
3	1,00	0,005	13	8,00	0,04
4	1,00	0,005	14	12,00	0,06
5	3,00	0,015	15	8,00	0,04
6	4,00	0,02	16	1,00	0,005
7	21,00	0,105	17	0,00	0
8	36,00	0,18	18	0,00	0
9	41,00	0,205	19	0,00	0
10	29,00	0,145	20	1,00	0,005

Результаты табл. 3 использовались для расчета математического ожидания, как оценки среднего значения измеренных номиналов сопротивлений [24]

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (m_i \times v_i), \tag{2}$$

где  $\bar{x}$  – математическое ожидание,  $m$  – число значений в одном интервале,  $v_i$  – частота проявления измеренных значений;  $k$  – количество интервалов.

Полученное значение  $\bar{x}$  использовалось для вычисления дисперсии (среднего квадратического отклонения), как меры оценки, характеризующей разброс результатов измерений номиналов сопротивлений контрольной выборки, относительно рассчитанной величины среднего значения [26]:

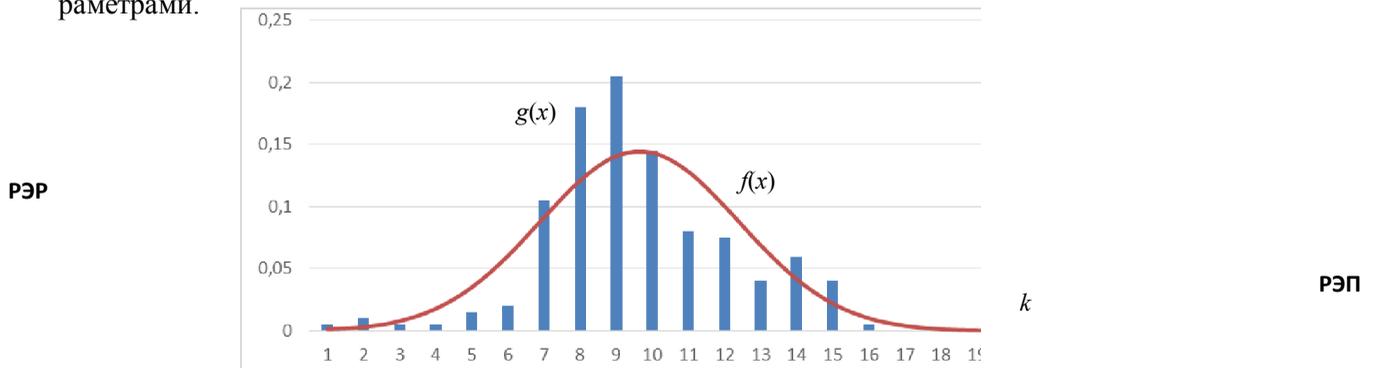
$$D = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{n-1}. \tag{3}$$

Рассчитанные значения математического ожидания  $\bar{x} = 2,36$  кОм и дисперсии  $D = 0,06$  кОм в дальнейшем были использованы для вычисления функции распределения нормально-го закона.

В проведенном исследовании функция распределения  $f(x)$  рассматривалась как функция, характеризующая распределение случайной величины, параметры которой соответствуют параметрам распределения измеренных значений сопротивлений [27]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D}} \exp\left(-\frac{x - \bar{x}}{2D}\right). \tag{4}$$

На рис. 1 представлено распределение гистограмм измеренных значений номиналов сопротивлений  $g(x)$  и функция нормального закона  $f(x)$  с расчетными статистическими параметрами.



**Рис. 1.** Гистограмма распределения измеренных значений и функция нормального закона

Визуальный анализ результатов, представленных на рис. 1, указывает на то, что значения гистограммы на интервалах 3-6, и 11-13 по своей величине меньше соответствующих данных функции нормального закона в этих позициях, а на интервалах 7-9 и 14, 15 – превышают их.

Для установления точного соответствия характера изменения гистограммы значениям функции нормального закона, в соответствии с методикой, был использован частный критерий согласия  $\alpha_3$ .

**Проверка отклонения от нормальности распределения на основе критерия  $\alpha_3$**

Выбранный критерий характеризует собой коэффициент асимметрии анализируемого распределения по отношению к функции нормального закона [21].

$$\alpha_3 = \frac{1}{nS^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 . \tag{5}$$

где  $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$  – величина стандартного отклонения.

Полученное значение  $\alpha_3 = 0,24$ .

Затем была рассчитана дисперсия величины  $\alpha_3$  по формуле [21]:

$$D(\alpha_3) = \frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)} , \tag{6}$$

Полученное значение  $D(\alpha_3) = 0,29$ .

Далее, в соответствии с критерием, была проведена нормализация преобразования  $\alpha_3$ , и рассчитаны значения:

аппроксимации, согласно  $\xi$ -преобразованию, для которой значения стандартных коэффициентов получены из табл. 13, приведенной в [24]:  $\delta = 5,15$ ,  $\frac{1}{\lambda} = 1,16$ ;

отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту  $\frac{1}{\lambda}$

$$z = \frac{\alpha_3}{\lambda} = 0,20 . \tag{7}$$

При  $n \leq 200$  в [20] обоснован переход к  $\xi$ -преобразованию, которое можно рассчитать в соответствии с выражением:

$$\xi = \delta \times \ln(z + \sqrt{z^2 + 1}) = 1,02 . \tag{8}$$

Далее, используя аппроксимацию согласно  $z$ -преобразования [20], получим:

$$y = \alpha_3 \sqrt{\frac{(n-1)(n+3)}{6(n-2)}} = 1,38 . \tag{9}$$

$$\beta = \frac{3(n^2 + 27n - 70)(n+1)(n+3)}{(n-2)(n+5)(n+7)(n+9)} = 3,16 . \tag{10}$$

$$\omega^2 = -1 + \sqrt{2(\beta - 1)} = 1,08 . \tag{11}$$

$$\delta = \sqrt{\ln(\omega)} = 0,19 . \tag{12}$$

$$\alpha = \left( \frac{2}{\omega^2 - 1} \right)^{0,5} = 5,05 . \tag{13}$$

Величина  $z$ -преобразования в [21] рассчитывается следующим образом:

$$z = \delta \times \ln \left( \frac{y}{\alpha} + \sqrt{\left( \frac{y}{\alpha} \right)^2 + 1} \right) = 0,05 . \tag{14}$$

Для дальнейшей нормализации преобразования  $\alpha_3$  необходимо определить 95%-ый квантиль стандартного нормального распределения, который согласно табл. 21, приведенной в [20], равен  $u_{0,95} = 1,66$ .

Учитывая, что коэффициент эксцесса [21] составляет

$$\alpha_4 = \frac{1}{nS^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 = 4,40 . \tag{15}$$

То тогда нормирующее значение преобразования  $\alpha_3$ , в соответствии с квантилем  $u_{0,95} = 1,66$  и проведенным аппроксимациям  $\xi$ -преобразования и  $z$ -преобразования, получим путем последующего сравнения:

$$\xi = 1,038 < u_{0,95} = 1,66 ; z = 0,05 < u_{0,95} = 1,66 . \quad (16)$$

Согласно полученными результатами, можно сделать вывод, что распределение гистограмм измеренных значений, несмотря на визуальные различия, соответствует нормальному закону, согласно частному критерию асимметрии  $\alpha_3$ . Поэтому можно утверждать, что номиналы измеренных значений сопротивлений в контрольной выборке соответствуют нормальному закону, что соответствует теории старения элементов [7].

В интересах установлении доли резисторов, номиналы которых не укладываются в величину  $\pm 5\%$ , рассчитаем границы допустимых значений:

$$R_{\min} = R - 0,05R = 2,4 - 0,05 \times 2,4 = 2,28 \text{ кОм}. \quad (17)$$

$$R_{\max} = R + 0,05R = 2,4 + 0,05 \times 2,4 = 2,52 \text{ кОм}. \quad (18)$$

Согласно таб. 1.1 и 1.2, в рассчитанные границы не попадают результаты измерения резисторов №№ 19, 20, 23, 26, 34, 36, 38, 40, 55, 75, 148, 154 и 192, что составляет 6,5% от контрольной партии.

### Заключение

В ходе эксперимента из партии в 20 000 изделий были отобраны 200 резисторов, из которых, только у 13 элементов измеренное значение не соответствует требованиям ГОСТ 5.172-75, определяющим допустимые границы разброса номинала, составляющее для значения 2,4 кОм [2,28; 2,52] кОм.

Вместе с тем на основе проведенного статистического анализа с применением частного критерия  $\alpha_3$  установлено, что в целом распределение экспериментальных значений соответствует нормальному закону. Поэтому правомерно полагать, что отклонения в 6,5% от допустимой величины применимо ко всей партии резисторов из 20 000 штук.

Поскольку сроки хранения резисторов превысили допустимые 25 лет, то такие элементы могут применяться только в изделиях, определяемых ТУ, в которых нет жестких требований к срокам хранения элементной базы.

Учитывая небольшой объем непригодных компонентов, то проведение предварительной отбраковки видится целесообразным. Поскольку резисторы ранее в употреблении не были и их выводы пригодны для пайки как в ручном режиме, так и в автоматическом.

Дальнейшие исследования будут направлены на установление соответствия данной партии резисторов требованиям по устойчивости к температурным изменениям.

**Литература**

1. *Кокорева И.* Стратегия развития радиоэлектронной промышленности: инструменты развития // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* 2017. № 2 (162). С. 102-109.
2. *Шкабардня М. С., Ищенко А. М.* Научный центр приборостроения и автоматизации к истории отечественного приборостроения // *История науки и техники.* 2012. № 11. С. 35-44.
3. *Ползунова Н. Н.* Реализация стратегии импортозамещения через развитие машиностроения // *Экономика и управление в машиностроении.* 2022. № 3. С. 20-27.
4. *Горбачёв В., Кочемасов В.* Резисторы - основные типы и характеристики. Часть 2 // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* 2021. № 6 (207). С. 74-87.
5. *Доросинский А. Ю.* Применение физико-технических методов для выявления причин отказов проволочных резисторов // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* 2020. № 1(53). С. 58-69. DOI 10.21685/2072-3059-2020-1-6.
6. *Буланова Т. Г., Зуев В. Д., Баннов В. Я., Полковников Е. А.* Способы улучшения параметров проволочных переменных резисторов // *Труды международного симпозиума "Надежность и качество".* 2023. Т. 2. С. 167-170.
7. *Кузнецова Т. А., Августиневич В. Г., Фофанов В. О.* Применение генетических алгоритмов и нейронных сетей для прогнозирования изменения состояния и аварийных режимов авиадвигателей // *Нечеткие системы и мягкие вычисления.* 2022. Т. 17, № 2. С. 7-27. DOI 10.26456/fssc89.
8. *Дворников С. В., Кудрявцев А. М.* Теоретические основы частотно-временного анализа кратковременных сигналов: монография; Военная акад. связи. Санкт-Петербург: ВАС, 2010. 240 с. ISBN 978-5-91690-008-8.
9. *Дворников С. В., Погорелов А. А., Вознюк М. А., Иванов Р. В.* Оценка имитостойкости каналов управления с частотной модуляцией // *Информация и космос.* 2016. № 1. С. 32-35.
10. *Пиганов М. Н., Куликов А. В., Новомейский Д. Н.* Прогнозные математические модели тонкоплёночных элементов микросборок // *Труды МАИ.* 2023. № 131. DOI 10.34759/trd-2023-131-14.
11. *Фомина К. С., Пилькевич А. В., Садков В. Д.* Влияние сопротивления многослойных контактов на параметры поглощающего элемента // *Проектирование и технология электронных средств.* 2021. № 1. С. 10-15. EDN TLIVTY.
12. *Черноскутов М. Ю., Ивлиев А. Д., Мешков В. В.* [и др.] Аппаратно-программный комплекс для измерения электрического сопротивления металлов и сплавов при высоких температурах // *Измерительная техника.* 2018. № 5. С. 60-64. EDN XPSVIL.
13. *Румянцев А. В., Никишин М. А., Сеницин А. П.* Измерение бесконтактным методом удельного электрического сопротивления листового металла в области высоких температур // *Журнал технической физики.* 2020. Т. 90, № 10. С. 1702-1707. DOI 10.21883/JTF.2020.10.49802.348-19.
14. *Скачков С. А., Клюев А. В., Екшэмбиев С. Х., Пяткин В. В.* Стохастический метод определения потенциально ненадежных элементов и прогнозирования технического состояния управляющих вычислительных систем // *Нелинейный мир.* 2022. Т. 20, № 1. С. 14-23. DOI 10.18127/j20700970-202201-02.
15. *Труханов В. М.* Модель формирования постепенных отказов // *Проблемы машиностроения и надежности машин.* 2015. № 3. С. 77-79. EDN UEAYQP.
16. *Доросинский А. Ю., Прокофьев О. В., Семочкина И. Ю.* Перспективы применения композиционных резисторов в аппаратном обеспечении информационно-измерительных систем // *Надежность и качество сложных систем.* 2021. № 4(36). С. 98-105. DOI 10.21685/2307-4205-2021-4-11.
17. *Комиссаров Ф.* Надежные MELF-резисторы от компании Firstohm // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* 2020. № 3(194). С. 140-141. DOI 10.22184/1992-4178.2020.194.3.140.141.
18. *Фаюстов А. А., Гуреев П. М.* Экспресс - оценка нормальности распределения результатов измерений по критерию согласия Пирсона // *Законодательная и прикладная метрология.* 2020. № 4(166). С. 39-43.
19. *Приходченко А. И.* Выбор статистически оптимального критерия согласия равномерного распределения для ранговой обработки сигналов в условиях априорной неопределенности // *Известия ЮФУ. Технические науки.* 2021. № 3(220). С. 164-172. DOI 10.18522/2311-3103-2021-3-164-172.
20. *Кобзарь А. И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
21. *Джонсон Н., Лион Ф.* Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. М.: Мир, 1980. 511 с.

22. Дворников С. В., Крячко А. Ф., Пшеничников А. В. Моделирование радиотехнических систем в конфликтных ситуациях когнитивного характера. Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXII Международной научной конференции: 2-х частях, Санкт-Петербург, 03–07 июня 2019 года. Том Часть 2. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2019. С. 84-89. EDN GLQVYA.

23. Иванов С. А. Контроль инерциально-спутниковых наблюдений по комбинированным критериям согласия // Труды МАИ. 2020. № 115. С. 8. DOI 10.34759/trd-2020-115-08.

24. Крянев А.В., Лукин Г.В. Математические методы обработки неопределенных данных. Монография. М.: Физматлит, 2003. 216 с.

25. Дворников С. В., Балыков А. А. Предложения по управлению скоростью передачи и помехоустойчивостью сигналов с перестановочной частотной модуляцией // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14, № 6. С. 20-26. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-6-20-26.

26. Polarization Direction Finding Method of Interfering Radio Emission Sources / A. Simonov, G. Fokin, V. Sevidov [et al.] // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems, St. Petersburg, Russia, 26–28 августа 2019 года. Vol. 11660. – St. Petersburg, Russia: Springer Verlag, 2019. P. 208-219. DOI 10.1007/978-3-030-30859-9\_18. EDN GWKCCM.

27. Дворников С. В. Билинейные распределения с пониженным уровнем интерференционного фона в частотно-временном пространстве (продолжение обзора) // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4, № 2. С. 69-81. EDN XRVQDR.

## ANALYSIS OF THE SERVICEABILITY OF RESISTORS AFTER A SPECIFIED STORAGE PERIOD

### IVAN S. POLSHCHIKOV

Applicant at the Department  
SUAI, St. Petersburg, Russia, halkivan007@inbox.ru

### GRIGORY V. OSIPOV

Applicant at the Department  
SUAI, St. Petersburg, Russia, halkivan007@inbox.ru

### ANASTASIA A. FEDOSOVA

Applicant at the Department  
State University of Telecommunications, prof. M.A. Bonch-Bruevich, St. Petersburg, Russia, halkivan007@inbox.ru

### SERGEY V. DVORNIKOV

Professor, PhD, Full Professor  
SUAI, St. Petersburg, Russia, halkivan007@inbox.ru

### ABSTRACT

**Introduction:** The paper presents an analysis of the results of measuring the current nominal value of 200 resistances of a control sample of resistors, randomly removed from a batch of products of 20,000 pieces, for compliance of their nominal values with the declared values, taking into account the permissible spread of parameters. **Problem statement:** based on a particular criterion of agreement characterizing the coefficient of distribution asymmetry, formed on the basis of measured resistance values from the control sample, establish their correspondence to the distribution function of the normal law, thereby confirming the applicability of the results obtained to the entire batch of electronic components. And determine the feasibility of further use of the entire batch of resistors after additional rejection in the manufacture of products for which the requirements for the element base are determined on the basis of technical specifications, and not GOST. **Methods:** direct measurement methods, statistical analysis method, partial agreement criteria and methods of induction and deduction of system analysis. **Results:** a verbal and mathematical formulation of the scientific problem for the study was carried out, measurements of a control sample of 200 resistors were carried out, a histogram of the distribution of measured resistance values was constructed, for which the mathematical expectation and dispersion were calculated, the distribution density function of the normal law was constructed with statistical parameters of the measured resistance values, the parameters of the quotient were calculated agreement criterion  $\alpha_3$ , using the agreement criterion based on the distribution asymmetry coefficient, an assessment of the correspondence of the histogram of the distribution of measured resistance values to the normal law distribution density function with the same parameters was obtained, proposals were formulated for the further use of a batch of 20,000 resistors. **Practical significance:** the law of degradation of resistor parameters, caused by natural aging of materials, corresponds to theoretical assumptions; the percentage of unusable resistors equal to 6.5% after 33 years of storage was determined. **Discussion:** for a specific batch of 20,000 resistors, the feasibility of rejection procedures in products that require only compliance with the declared value has been established.

**Keywords:** measurement of the nominal resistance value, statistical processing of measurement results, mathematical expectation, dispersion, distribution function, goodness-of-fit criterion  $\alpha_3$ .

## REFERENCES

1. Kokoreva I. Strategy for the development of the radio-electronic industry: development tools. Electronics: Science, technology, business. 2017. No. 2 (162). Pp. 102-109. (In Rus).
2. Shkabardnya M. S., Ishchenko A. M. Scientific Center for Instrument Making and Automation on the History of Domestic Instrument Making. History of Science and Technology. 2012. No. 11. Pp. 35-44. (In Rus).
3. Polzunova N. N. Implementation of the import substitution strategy through the development of mechanical engineering. Economics and management in mechanical engineering. 2022. No. 3. Pp. 20-27. (In Rus).
4. Gorbachev V., Kochemasov V. Resistors - main types and characteristics. Part 2. Electronics: Science, technology, business. 2021. No. 6 (207). Pp. 74-87. (In Rus).
5. Dorosinsky A. Yu. Application of physical and technical methods to identify the causes of failures of wire resistors. News of higher educational institutions. Volga region. Technical science. 2020. No. 1(53). Pp. 58-69. DOI 10.21685/2072-3059-2020-1-6. (In Rus).
6. Bulanova T. G., Zuev V. D., Bannov V. Ya., Polkovnikov E. A. Methods for improving the parameters of wire-wound variable resistors. Proceedings of the international symposium "Reliability and Quality". 2023. T. 2. Pp. 167-170. (In Rus).
7. Kuznetsova T. A., Avgustinovich V. G., Fofanov V. O. Application of genetic algorithms and neural networks for predicting changes in the state and emergency modes of aircraft engines. Fuzzy systems and soft computing. 2022. T. 17, No. 2. Pp. 7-27. DOI 10.26456/fssc89. (In Rus).
8. Dvornikov S.V., Kudryavtsev A.M. Theoretical foundations of frequency-time analysis of short-term signals: monograph; Military acad. communications. St. Petersburg: VAS, 2010. 240 p. ISBN 978-5-91690-008-8. (In Rus).
9. Dvornikov S.V., Pogorelov A.A., Voznyuk M.A., Ivanov R.V. Assessing the simulation resistance of control channels with frequency modulation. Information and space. 2016. No. 1. Pp. 32-35. (In Rus).
10. Piganov M. N., Kulikov A. V., Novomeysky D. N. Predictive mathematical models of thin-film elements of microassemblies. Proceedings of MAI. 2023. No. 131. DOI 10.34759/trd-2023-131-14. (In Rus).
11. Fomina K. S., Pilkevich A. V., Sadkov V. D. The influence of the resistance of multilayer contacts on the parameters of the absorbing element. Design and technology of electronic means. 2021. No. 1. Pp. 10-15. EDN TLIVTY. (In Rus).
12. Chernskutov M. Yu. Ivliev A. D., Meshkov V. V. [et al.] Hardware-software complex for measuring the electrical resistance of metals and alloys at high temperatures. Measuring technology. 2018. No. 5. Pp. 60-64. EDN XPSVIL. (In Rus).
13. Rumyantsev A.V., Nikishin M.A., Sinitin A.P. Measurement by a non-contact method of electrical resistivity of sheet metal in the high temperature region. Journal of Technical Physics. 2020. T. 90, No. 10. Pp. 1702-1707. DOI 10.21883/JTF.2020.10.49802.348-19. (In Rus).
14. Skachkov S. A., Klyuev A. V., Ekshembiev S. Kh., Pyatkin V. V. Stochastic method for determining potentially unreliable elements and predicting the technical condition of control computer systems. Nonlinear World. 2022. T. 20, No. 1. Pp. 14-23. DOI 10.18127/j20700970-202201-02. (In Rus).
15. Trukhanov V. M. Model of formation of gradual failures. Problems of mechanical engineering and machine reliability. 2015. No. 3. Pp. 77-79. EDN UEAYQP. (In Rus).
16. Dorosinsky A. Yu., Prokofiev O. V., Semochkina I. Yu. Prospects for the use of composition resistors in the hardware of information-measuring systems. Reliability and quality of complex systems. 2021. No. 4(36). Pp. 98-105. DOI 10.21685/2307-4205-2021-4-11. (In Rus).
17. Komissarov F. Reliable MELF resistors from the Firstohm company. Electronics: Science, technology, business. 2020. No. 3(194). Pp. 140-141. DOI 10.22184/1992-4178.2020.194.3.140.141. (In Rus).
18. Fayustov A. A., Gureev P. M. Express - assessment of the normality of the distribution of measurement results using the Pearson agreement criterion. Legislative and applied metrology. 2020. No. 4(166). Pp. 39-43. (In Rus).

19. Prikhodchenko A. I. Selection of a statistically optimal criterion for the agreement of a uniform distribution for rank processing of signals under conditions of a priori uncertainty. *Izvestia SFU. Technical science*. 2021. No. 3(220). Pp. 164-172. DOI 10.18522/2311-3103-2021-3-164-172. (In Rus).
20. Kobzar A.I. *Applied mathematical statistics. For engineers and scientists*. M.: FIZMATLIT, 2006. 816 p. (In Rus).
21. Johnson N., Lyon F. *Statistics and experimental planning in technology and science. Data processing methods*. M.: Mir, 1980. 511 p. (In Rus).
22. Dvornikov S.V., Kryachko A. F., Pshenichnikov A. V. Modeling of radio systems in conflict situations of a cognitive nature. *Wave electronics and infocommunication systems: Collection of articles of the XXII International Scientific Conference: 2 parts*, St. Petersburg, June 03–07, 2019. Volume Part 2. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2019. Pp. 84-89. EDN GLQVYA. (In Rus).
23. Ivanov S. A. Control of inertial-satellite observations using combined criteria of agreement. *Proceedings of MAI*. 2020. No. 115. Pp. 8. DOI 10.34759/trd-2020-115-08. (In Rus).
24. Kryanev A.V., Lukin G.V. *Mathematical methods for processing uncertain data*. M.: Fizmatlit, 2003. 216 p. (In Rus).
25. Dvornikov S.V., Balykov A.A. Proposals for controlling the transmission speed and noise immunity of signals with permutable frequency modulation. *T-Comm: Telecommunications and Transport*. 2020. T. 14, No. 6. Pp. 20-26. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-6-20-26. (In Rus).
26. Polarization Direction Finding Method of Interfering Radio Emission Sources / A. Si-monov, G. Fokin, V. Sevidov [et al.] // *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*, St. Petersburg, Russia, August 26–28, 2019. Vol. 11660. St. Petersburg, Russia: Springer Verlag, 2019. Pp. 208-219. DOI 10.1007/978-3-030-30859-9\_18. EDN GWKCCM.
27. Dvornikov S.V. Bilinear distributions with a reduced level of interference background in frequency-time space (continuation of the review). *Proceedings of educational institutions of communication*. 2018. T. 4, No. 2. Pp. 69-81. EDN XRVQDR. (In Rus).