

УДК 620.17:658.56

**П. Л. Кузнецов**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова  
**В. А. Кузнецова**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова  
**Г. В. Ломаев**, доктор технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТАНТАЛОВЫХ ОБЪЕМНО-ПОРИСТЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ВО ВРЕМЕНИ

*С помощью статистических методов проведены исследования влияния технологических операций на изменения эксплуатационных характеристик танталовых объемно-пористых конденсаторов.*

**Ключевые слова:** танталовые объемно-пористые конденсаторы, эксплуатационные характеристики технологического процесса.

**П**ри производстве объемно-пористых танталовых конденсаторов существует ряд факторов, воздействующих на них. Эти факторы можно разделить по содержанию сущности их влияния на две группы – субъективные и объективные [1, 2].

Субъективные факторы определяют влияние человеческого фактора на качество конструкторско-технологических решений, проведение технологических процессов и организацию производства. По мере усложнения конструкции и повышения требований к параметрам происходит усложнение технологии производства, и человеческий фактор приобретает особое значение.

Влияние человеческого фактора как комплекса субъективных факторов проявляется в ошибках разработчиков конденсаторов, производственного персонала при выполнении технологических процессов и ошибках в применении и эксплуатации.

К основным эксплуатационным характеристикам объемно-пористых конденсаторов относятся:

- емкость  $C$  [3, 4];
- тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg}\delta$ ;
- ток утечки  $I_{\text{ут}}$ .

К неосновным эксплуатационным характеристикам объемно-пористых конденсаторов можно отнести эквивалентное последовательное сопротивление  $R_{\text{экв}}$ . Рыночный спрос на конденсаторы с высокой емкостью и низким  $R_{\text{экв}}$  обусловлен промышленной тенденцией к цепям сниженного напряжения, функционирующих на высокой частоте, с повышенными требованиями токовых характеристик, поэтому из неосновного параметра  $R_{\text{экв}}$  постепенно становится основным.

При изготовлении объемно-пористых конденсаторов невозможно получить абсолютную повторяемость параметров, а при появлении отклонений в технологических операциях эксплуатационные характеристики начинают изменяться во времени раньше расчетного срока.

Целью данной работы являлось проведение оценки работоспособности объемно-пористых конденсаторов при длительной безотказности.

### Образцы для исследований и методика эксперимента

В качестве образцов для проведения исследований были взяты объемно-пористые конденсаторы серии К52-..., произведенные ОАО «Элеконд».

Исследование экспериментальной партии танталовых объемно-пористых конденсаторов номиналом  $63 \text{ В} \times 470 \text{ мкФ}$  проведено на выборке  $n = 30$  шт. согласно [5], достаточной для проведения испытаний на длительную безотказность.

Методика исследований включала следующие операции.

1. Проведение измерения начальных значений параметров конденсаторов при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
2. Испытание конденсаторов проводилось при напряжении, равном номинальному  $U_{\text{исп}} = 63 \text{ В}$ . Температура испытаний – максимальная температура среды, при которой допускается работа конденсаторов,  $T_{\text{исп}} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Продолжительность испытаний – 3000 ч.
4. Контрольные точки – 1000 ч; 2000 ч; 3000 ч.

Проведение измерения значений параметров конденсаторов в контрольных точках проводилось при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для анализа взяты следующие эксплуатационные характеристики конденсаторов:

- емкость конденсаторов  $C$  (мкФ) на частоте  $50 \text{ Гц}$ ;
- эквивалентное последовательное сопротивление  $R_{\text{экв}}$  (Ом) на частоте  $100 \text{ кГц}$ .

### Результаты и их обсуждение

В ходе проведения эксперимента были получены значения емкости  $C$  и эквивалентного последовательного сопротивления  $R_{\text{экв}}$ . Результаты проведенного исследования сведены в таблицу.

## Эксплуатационные характеристики конденсаторов при эксплуатации в течение 3000 часов

№ конд-ра	C, мкФ				R <sub>экв</sub> , Ом			
	0 ч	1000 ч	2000 ч	3000 ч	0 ч	1000 ч	2000 ч	3000 ч
1	480	480	480	480	0,14	0,17	0,17	0,21
2	480	480	480	450	0,13	0,17	0,25	3,6
3	480	480	480	470	0,14	0,16	0,16	0,17
4	480	480	480	470	0,12	0,17	0,17	0,16
5	470	470	470	470	0,14	0,18	0,14	0,12
6	480	475	480	470	0,12	0,16	0,15	0,13
7	480	480	485	475	0,13	0,16	0,15	0,13
8	480	480	490	475	0,13	0,15	0,15	0,13
9	480	480	480	470	0,13	0,15	0,16	0,22
10	480	480	480	465	0,12	0,15	0,25	3,6
11	480	480	480	460	0,12	0,15	0,19	1,5
12	475	470	480	465	0,12	0,14	0,15	0,19
13	480	475	480	470	0,1	0,14	0,15	0,12
14	480	480	480	470	0,11	0,15	0,16	0,14
15	475	470	480	460	0,09	0,14	0,25	2,9
16	480	480	480	455	0,11	0,14	0,25	4,4
17	470	470	475	465	0,12	0,14	0,16	0,14
18	480	480	480	470	0,12	0,15	0,15	0,16
19	480	480	480	470	0,12	0,15	0,15	0,13
20	480	480	480	470	0,12	0,14	0,15	0,13
21	480	480	480	470	0,12	0,15	0,17	0,3
22	480	480	480	465	0,12	0,15	0,31	5,6
23	480	475	480	470	0,11	0,16	0,16	0,14
24	480	475	480	450	0,11	0,15	0,26	6,1
25	470	470	470	470	0,11	0,15	0,16	0,12
26	475	475	475	450	0,11	0,16	0,27	3,7
27	480	480	480	475	0,11	0,16	0,16	0,13
28	480	480	480	470	0,11	0,16	0,17	0,22
29	480	480	480	470	0,11	0,17	0,19	0,23
30	480	480	480	475	0,11	0,17	0,18	0,19
<b>Ср.</b>	<b>478,50</b>	<b>477,50</b>	<b>479,50</b>	<b>467,17</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,18</b>	<b>1,17</b>
<b>Min</b>	<b>470</b>	<b>470</b>	<b>470</b>	<b>450</b>	<b>0,09</b>	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>	<b>0,12</b>
<b>Max</b>	<b>480</b>	<b>480</b>	<b>490</b>	<b>480</b>	<b>0,14</b>	<b>0,18</b>	<b>0,31</b>	<b>6,1</b>

Из результатов проведенного исследования получены гистограммы распределения значений эксплуатационных характеристик конденсаторов. Результаты приведены на рис. 1, 2.

Проанализировав полученные результаты и построенные по имеющимся данным гистограммы распределения значений и минимаксный разброс параметров емкости  $C$  и эквивалентного последовательного сопротивления  $R_{экв}$ , можно сделать следующие заключения.

По гистограмме на рис. 1, *а* можно судить об отклонении в технологическом процессе. Наблюдаемое смещение в сторону увеличения параметра  $C$  может быть связано с технологическими ошибками, допущенными на этапах производства, например, неравномерное распределение температуры при операции «спекание анодной таблетки».

На гистограмме, приведенной на рис. 2, *а* представлено распределение значений параметра  $R_{экв}$ , укладывающихся в поле допуска.

На рис. 1, *б* наблюдается нормализация параметра  $C$  и приближение его к номинальному значению, что связано с электрохимическими процессами, происходящими внутри конденсаторов при эксплуатации, например, доформовкой анода.

На рис. 2, *б* наблюдается смещение распределения параметра в сторону увеличения  $R_{экв}$  до 0,18 Ом,

что связано с электрохимическими процессами, происходящими внутри конденсаторов.

Через 2000 ч наблюдается стабилизация параметра  $C$ , и гистограмма принимает вид, представленный на рис. 1, *в*. За счет электрохимических процессов, происходящих внутри конденсатора, произошло окончательное формирование физико-химической структуры конденсатора. Смещение распределения значений параметра  $C$  к 480 мкФ, при номинальном значении 470 мкФ, связано с наличием систематической случайной погрешности из-за ошибок настройки технологического оборудования.

На рис. 2, *в* продолжается смещение вершины гистограммы распределения в сторону увеличения значений параметра  $R_{экв}$  до 0,3 Ом.

По истечении 3000 ч наблюдается уменьшение параметра  $C$  (рис. 1, *г*), но данный параметр за счет ошибок технологических операций остается на уровне номинального значения, хотя при контроле по  $R_{экв}$  уже наблюдается наличие браковочного признака конденсатора (рис. 2, *г*) – значения  $R_{экв}$  превышают 6 Ом.

По полученным экспериментальным данным построен график зависимости разброса значений  $C$  и  $R_{экв}$  от времени эксплуатации. Результаты приведены на рис. 3, 4.

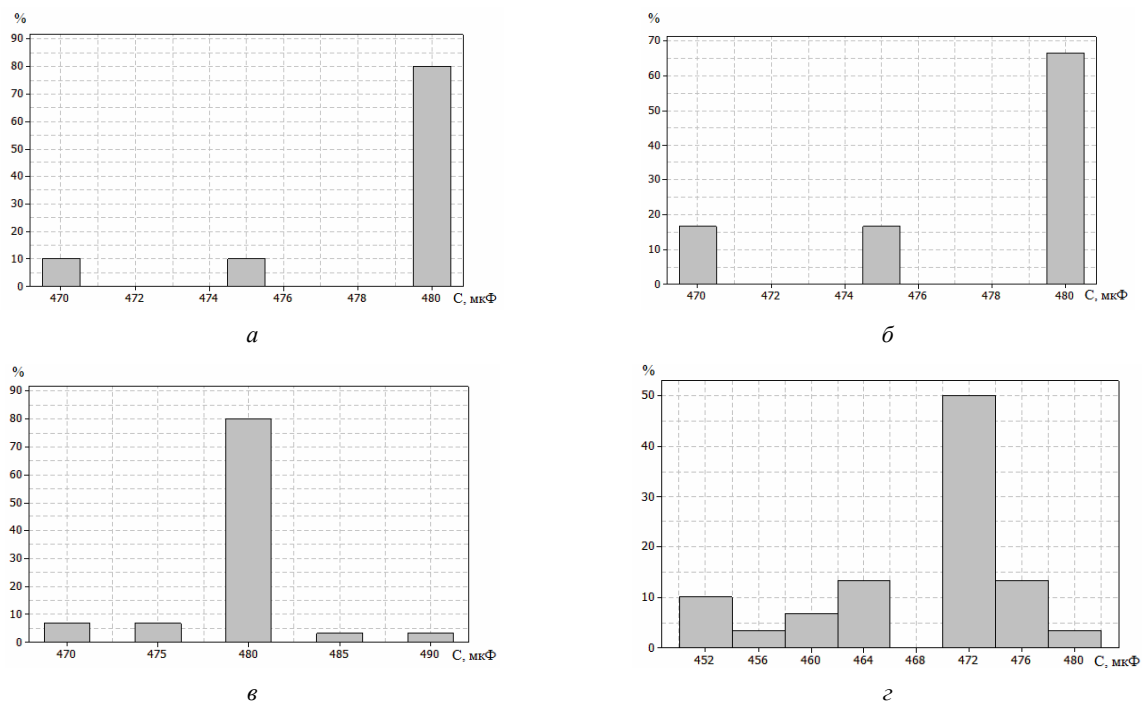


Рис. 1. Распределение значение параметра  $C$  в выборке:  $a$  – первоначальные значения;  $б$  – через 1000 ч работы;  $в$  – через 2000 ч работы;  $г$  – через 3000 ч работы

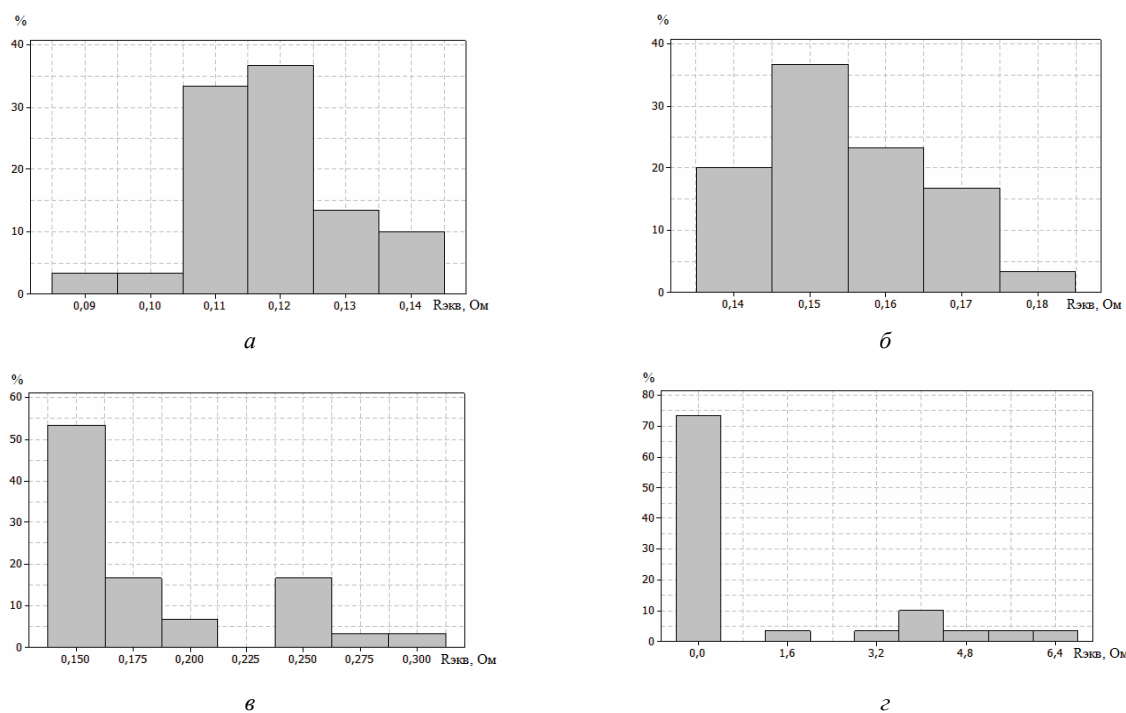


Рис. 2. Распределение значение параметра  $R_{экв}$  в выборке:  $a$  – первоначальные значения;  $б$  – через 1000 ч работы;  $в$  – через 2000 ч работы;  $г$  – через 3000 ч работы

Соединив точки верхних и нижних границ полей рассеяния, получили временные функции изменения емкости (рис. 3). Из зависимости видно, что за все время эксперимента не произошло выхода границы поля рассеивания за границы поля допуска. К 2000 ч эксплуатации наблюдается сначала увеличение значений параметра  $C$ , а затем, после 2000 ч

эксплуатации, наблюдается тенденция к снижению емкости.

При анализе временной зависимости эквивалентного последовательного сопротивления, приведенной на рис. 4, наблюдается выход поля рассеивания параметра за границу поля допуска ориентировочно через 2100 часов, что можно считать браковочным признаком.

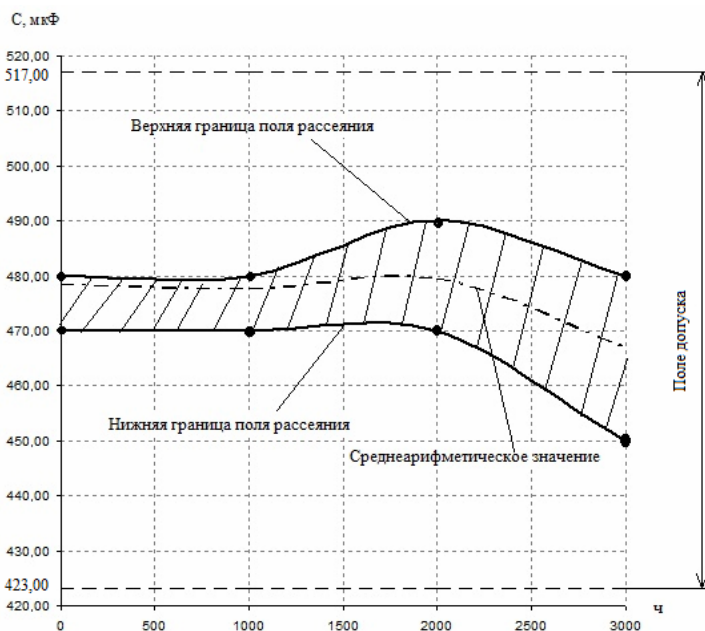


Рис. 3. График зависимости разброса параметра  $C$  от времени эксплуатации

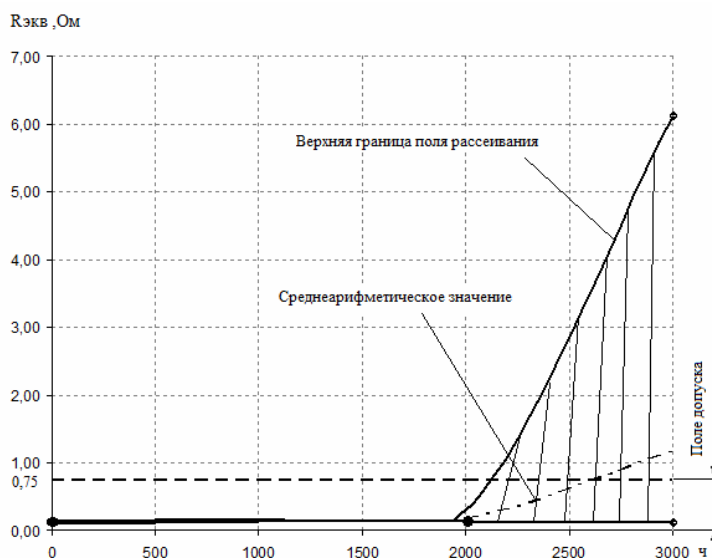


Рис. 4. График зависимости разброса параметра  $R_{экв}$  от времени эксплуатации

Анализируя характеры зависимостей  $C$  и  $R_{экв}$  (рис. 3, 4) от времени эксплуатации конденсаторов, можно сделать следующие выводы. Отказ по параметру  $R_{экв}$  наблюдается с 2000 ч даже с учетом ошибок технологических операций, приводящих к завышенным значениям  $C$  (что не является браковочным признаком и в дальнейшем дает ложноположительный результат при контроле параметров при проведении испытаний на длительную безотказность); отказ же по параметру  $C$  происходит много позже 3000 ч эксплуатации.

Таким образом, анализ этого выходного параметра технологического процесса позволяет спрогнозировать момент выхода границы поля рассеивания за границы поля допуска и заблаговременно определить момент появления бракованных изделий, анализируя не основной параметр  $C$ , а справочный параметр  $R_{экв}$ .

#### Библиографические ссылки

1. Кузнецов П. Л. Проблемы контроля качества оксидно-полупроводниковых конденсаторов при использовании «Inrush-test» // Приборостроение в XXI веке – 2011. Интеграция науки, образования производства : сб. материалов VII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета (Ижевск, 15–17 ноября 2011 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – 504 с.

2. Кузнецов П. Л., Кузнецова В. А. Комплексный подход к обеспечению качества при производстве электролитических конденсаторов и ионисторов // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке [Электронный ресурс] : сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 23–25 апреля 2013 г.). – Ижевск, 2013. – 1415 с. – ISBN 978-5-7526-0603-8.

3. Факторы, определяющие емкость танталового оксидного конденсатора на стадии изготовления анода / В. А. Кузнецова, П. Л. Кузнецов, А. А. Масалев, В. В. Муравьев // Тр. II Междунар. конф. «Влияние высокоэнергетических воздействий на структуру и свойства конструкционных материалов» (23–30 сентября 2013 г.). – В 2 т. – Т. 1. / под ред. В. Е. Громова. – Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2013. – С. 233–239. – Серия «Фундаментальные проблемы современного материаловедения».

4. Кузнецова В. А., Кузнецов П. Л., Муравьев В. В. Исследование надежности танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов на основе экспериментальных данных // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 3(59). – С. 88–91.

5. ОСТ 11026–84. Конденсаторы постоянной емкости объемно-пористые танталовые. Общие технические условия.

P. L. Kuznetsov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
V. A. Kuznetsova, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
G. V. Lomaev, DSc in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Research of Influence of Characteristics of Manufacturing Process on Changes of Operational Characteristics of Tantalum Wet Capacitors in Time

*Investigations of influence of manufacturing operations on change of field-performance data of tantalum wet capacitors were carried out by means of statistical methods.*

**Key words:** tantalum wet capacitors, field-performance data of production process.

УДК 629.341

**Б. Я. Бендерский**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**Р. А. Петров**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ВЕНТИЛЯЦИИ САЛОНА АВТОБУСА

*Рассматривается численное моделирование процесса вентиляции салона автобуса. Приводятся результаты расчетов скоростных и температурных показателей в салоне, влияние на них скорости движения автобуса и количества открытых окон. Проведено сравнение полученных результатов с требованиями нормативных документов.*

**Ключевые слова:** автобус, салон, вентиляция, структура потока, скорость, температура.

**И**сследования процессов вентиляции салонов транспортных средств в настоящее время основываются на проведении дорожных испытаний и экспериментов.

Существуют интегральные методы расчета, использующие закономерности струйных течений и эмпирические или полуэмпирические схемы циркуляции воздушных потоков. Они позволяют определять лишь осредненные параметры потока, но не дают полного представления о структуре потока и его гидродинамических параметрах [1, 2].

Аналитические расчеты вентиляции являются исключительно сложными, поскольку процессы вентиляции салона представляют собой процессы трехмерного турбулентного течения и теплообмена.

В таких условиях численное моделирование процессов вентиляции салонов транспортных средств с использованием систем инженерного анализа является актуальным методом исследования. С его помощью автопроизводители могут получить сведения о гидродинамических параметрах в салоне еще на стадии проектирования, и на их основе вносить из-

менения в проектируемые конструкции салонов транспортных средств.

Объектом исследования был выбран салон автобуса модели ПАЗ-3205. На основе имевшихся чертежей разработана твердотельная модель автобуса, в которой, в силу сложности создания точной геометрии, принят ряд упрощений:

- отсутствуют пассажиры;
- сиденья выполнены схематично, отсутствуют поручни;
- в геометрии деталей отсутствует большинство скруглений.

В задаче о вентиляции необходимо рассматривать совместно внешнюю и внутреннюю аэродинамику автобуса. В силу значительной ресурсоемкости такой постановки задачи на предварительных этапах исследования было принято решение от нее отказаться.

На основании предварительного анализа выполнена упрощенная расчетная область, в которой реализуется неполное обтекание автобуса воздушным потоком. Расчетная область представлена на рис. 1.