

УДК 620.17:658.56

DOI 10.22213/2413-1172-2018-1-74-81

Е. А. Беляева, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ТАНТАЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЕФЕКТОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА ЭТАПАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОБНАРУЖИВАЕМЫХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ *

Введение

Для объективного анализа качества танталовых конденсаторов необходимо комплексное исследование видов и последствий потенциальных дефектов, возникающих как на стадии производства и в процессе испытаний на предприятии-изготовителе, так и в процессе эксплуатации у потребителей [1–4]. В качестве модели контроля качества разработан метод комплексного системного межэтапного функционального анализа видов и последствий потенциальных дефектов танталовых конденсаторов, применяемый на предприятии-изготовителе для корреляции производственного и эксплуатационного этапов. Поскольку приведенные в литературных источниках [5–11] методики и испытания не отражают полное статистическое управление качеством танталовых конденсаторов, задачей данного исследования является разработка принципов и методов статистического регулирования качеством танталовых конденсаторов на основе анализа выявляемых дефектов в процессе эксплуатации и производства.

Целью разрабатываемого метода комплексного системного межэтапного функционального анализа видов и последствий потенциальных дефектов танталовых конденсаторов является практическое внедрение управления современной системы качества по международному циклу PDCA [12] в цикл производства танталовых конденсаторов, т. е. своевременное принятие корректирующих и предупреждающих действий на стадии технологического процесса изготовления конденсатора и его комплектующих на основе данных статистического анализа изделий текущего производства и забракованных у потребителя для недопущения образования потенциальных дефектов изделий.

Постановка задачи. Исходные требования

Объектом исследования является качество танталовых конденсаторов следующих типов:

- танталовый объемно-пористый жидкостный конденсатор;
- танталовый оксидно-полупроводниковый конденсатор с твердым электролитом корпусного исполнения, или чип-конструкции.

При этом в качестве базиса берется анализ качества танталовых конденсаторов, отклоненных потребителем по претензионному документу, далее по тексту – претензионные изделия.

Модель может быть использована для танталовых конденсаторов:

- при производстве для совершенствования, корректировки действующих технологических процессов;
- на этапе доработки или модификации конструкции и (или) производственного процесса;
- для принятия решений в отношении партий, имеющих отклонения по некоторым показателям качества;
- при рассмотрении новых режимов эксплуатации или новых требований потребителя.

Данным методом могут быть решены следующие задачи в отношении танталовых конденсаторов:

- определение слабых мест конструкции и принятие мер по их устранению;
- доработка и улучшение конструкции до наиболее приемлемой с точки зрения технологичности, надежности и т. д.;
- анализ конструкции с учетом влияния режимов эксплуатации на технические характеристики;
- анализ технологического процесса и выявление его узких мест, которые могут вызвать появление дефектов и повлиять на безотказную работу;
- доработка технологического процесса до наиболее приемлемого варианта.

Принципы построения метода: иерархичность, итеративность, командный подход, регистрация результатов проведения анализа.

Методика системного межэтапного комплексного анализа качества танталовых конденсаторов

1. Методика системного статистического анализа качества претензионных танталовых конденсаторов.

1.1. Определение базисного периода Δt – интервала времени, за который необходимо провести анализ исходя из частоты возникновения дефектов.

1.2. Установление прослеживаемости отказов: выбор группы однотипных претензионных танталовых конденсаторов: серии, изделия или типонаминала исходя из данных по отказам в течение базисного периода Δt путем построения статистической диаграммной зависимости частоты возвратов конденсаторов (шт.) относительно общего количества отказов (шт.) по двум критериям – по вине изготовителя и в целом по возвращенным изделиям.

1.3. Количественная оценка потребителей, имеющих больше претензий к качеству в базисном периоде Δt , путем построения статистической диаграммной зависимости возвращенных изделий (шт.) каждым из потребителей относительно общего числа возвращенных изделий (шт.).

1.4. Установление видов дефектов конденсаторов в виде статистической диаграммной зависимости количества дефектов разных типов относительно общего количества возвращенных изделий.

1.5. Установление прослеживаемости (наличие или отсутствие взаимосвязи) между отказами в предыдущий и базисный периоды. На основании результатов анализа по пп. 1.1–1.5 производится отбор наиболее критичных конденсаторов (серии, изделия или типонаминала) и наиболее значимых дефектов.

1.6. Оценка относительных показателей качества наиболее критичных изделий в базисный период по дефектам согласно табл. 1 с указанием места обнаружения дефекта (испытания, входной контроль, производство, эксплуатация) и отклонений от технических требований при эксплуатации изделия.

1.7. Оценка значимости результатов статистического анализа претензионных изделий в базисный период путем установления качественных характеристик $K_1...K_4$ и соответствующих баллов значимости по табл. 3 в зависимости от возможности возникновения дефектов для каждого выбранного типа дефекта и этапа бракования изделия. Результаты анализа представить в матрице анализа претензионных конденсаторов (табл. 2).

Таблица 1. Критерии и методики оценки качества претензионных танталовых конденсаторов

Относительный показатель качества	Условное обозначение показателя	Формула расчета
Частота возникновения дефекта у различных потребителей, $f_m(t)$	K_1	$K_1 = f_m(t) = \frac{\sum_{i=1}^m n_i(t)}{N_m(t)},$ <p>где $\sum_{i=1}^m n_i(t)$ – суммарное количество обнаруженных дефектов (одного вида) конденсаторов у разных потребителей в базисном периоде Δt, шт.; $N_m(t)$ – количество поставленных конденсаторов в базисном периоде Δt, шт.</p>
Частота возникновения дефекта у одного потребителя, $f_k(t)$	K_2	$K_2 = f_k(t) = \frac{\sum_{j=1}^k n_j(t)}{N_k(t)},$ <p>где $\sum_{j=1}^k n_j(t)$ – суммарное количество обнаруженных дефектов конденсаторов (одного вида) из числа поставленных одному потребителю в базисном периоде Δt, шт.; $N_k(t)$ – количество поставленных конденсаторов одному потребителю в базисном периоде Δt, шт.</p>

Окончание табл. 1

Относительный показатель качества	Условное обозначение показателя	Формула расчета
Интенсивность отказов, $\lambda(t)$	K_3	$K_3 = \lambda(t) = \frac{\sum_{i=1}^m n_i(t)}{\left[N_m(t) - \sum_{i=1}^m n_i(t) \right] \Delta t},$ <p>где $\sum_{i=1}^m n_i(t)$ – суммарное количество отказавших танталовых конденсаторов за базисный период Δt, шт.; $N_m(t)$ – количество поставленных конденсаторов в базисном периоде Δt, шт.; $\Delta t = t_m - t_0$ – интервал времени от начала испытаний t_0 до момента отказа t_m, ч.</p>
Процент дефектной продукции, $K_{\text{деф}}(t)$	K_4	$K_4 = K_{\text{деф}}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m N_{\text{деф}}}{N_m(t)} \cdot 100\%,$ <p>где $\sum_{i=1}^m N_{\text{деф}}$ – суммарное количество конденсаторов, имеющих неустранимые дефекты и признанные по вине изготовителя в базисном периоде; $N_m(t)$ – количество поставленных конденсаторов в базисном периоде Δt, шт.</p>

Таблица 2. Матрица анализа претензионных конденсаторов

Этап, на котором был выявлен брак	Показатель качества	K_1	K_2	K_3	K_4
Входной контроль	Общее количество претензионных изделий	*	*	*	*
	Количество изделий, признанных по вине изготовителя	*	*	*	*
Производство	Общее количество претензионных изделий	*	*	*	*
	Количество изделий, признанных по вине изготовителя	*	*	*	*
Эксплуатация	Общее количество претензионных изделий	*	*	*	*
	Количество изделий, признанных по вине изготовителя	*	*	*	*

* указывается количественная характеристика и в скобках указывается балл значимости.

Таблица 3. Рекомендуемые корреляционные баллы значимости последствия S

Последствие	Критерий значимости последствия (с уточнением)	Балл S
Опасное без предупреждения	Может подвергнуть опасности персонал на технологических операциях. Очень высокий ранг значимости, когда потенциальный дефект ухудшает безопасность работы конденсатора и (или) вызывает несоответствие требованиям безопасности без предупреждения	10
Опасное с предупреждением	Может подвергнуть опасности персонал на технологических операциях. Весьма высокий ранг значимости, когда потенциальный дефект ухудшает безопасность работы конденсатора и (или) вызывает несоответствие требованиям безопасности с предупреждением	9
Очень важное	Значительное нарушение технологической дисциплины. Возможно забракование до 100 % продукции. Потенциальный дефект вызывает неработоспособность конденсатора с потерей главной функции. Потребитель очень недоволен	8
Важное	Небольшое нарушение технологической дисциплины. Может потребоваться сортировка конденсаторов при полном забраковании части продукции. Конденсатор работоспособен, но имеются отклонения от параметров. Потребитель неудовлетворен	7
Умеренное	Небольшое нарушение технологической дисциплины. Часть конденсаторов необходимо забраковать (без сортировки). Конденсатор работоспособен, но некоторые параметры конденсатора в небольшой вероятности могут способствовать отказу при определенных эксплуатационных условиях, дефекты обнаруживаются визуально, без применения средств увеличения. Потребитель испытывает дискомфорт	6

Окончание табл. 3

Последствие	Критерий значимости последствия (с уточнением)	Балл S
Слабое	Небольшое нарушение технологической дисциплины. Может потребоваться переделка до 100% продукции. Конденсатор работоспособен, но некоторые параметры конденсатора вызывают неудобства при эксплуатации. Потребитель испытывает некоторое неудовлетворение	5
Очень слабое	Небольшое нарушение технологической дисциплины. Может потребоваться сортировка и частичная переделка продукции. Внешний вид конденсатора не соответствует ожиданиям потребителя (например, изогнутые выводы, припой на выводах). Дефект замечает большинство потребителей	4
Незначительное	Небольшое нарушение технологической дисциплины. Может потребоваться переделка части продукции на специальном участке. Внешний вид конденсатора не соответствует ожиданиям потребителя; дефекты, которые не ухудшают функциональность изделий и не влияют на работоспособность изделий и определяются визуально, без использования средств увеличения. Дефект замечает средний потребитель	3
Очень незначительное	Небольшое нарушение технологической дисциплины. Может потребоваться доработка части продукции на основной производственной линии. Внешний вид конденсатора не соответствует ожиданиям потребителя, дефект определяемые только с использованием средств увеличения. Дефект замечает разборчивый потребитель	2
Отсутствует	Нет последствий	1

1.8. Расчет индекса качества танталовых конденсаторов на претензионных этапах (входной контроль, производство, эксплуатация) в базисном периоде Δt по значениям показателей табл. 2, по балльной шкале по формуле

$$I_k(t) = \frac{\sum_{i=1}^m [N_m(t) K_i]}{\sum_{i=1}^m N_m(t)},$$

где $N_m(t)$ – количество поставленных конденсаторов в базисном периоде Δt , шт.; K_i – относительный показатель качества i -го вида продукции (см. табл. 1).

Результаты расчетов занести в табл. 2.

1.9. Установление на основе матрицы анализа и рассчитанных индексов качества наиболее значимых претензионных танталовых конденсаторов и видов дефектов, подлежащих исследованию.

2. Методика экспертного анализа качества танталовых конденсаторов в зависимости от конструктивного, технологического и производственного аспектов.

2.1. Исследование вероятности влияния конструктивной недоработки или дефектов конструкции танталовых конденсаторов на возникновение отказов танталовых конденсаторов:

– анализ конструктивно-технологического и производственного запаса изделий по методике РМ 11 074.021–87 «Конденсаторы. Методы оценки конструктивно-технологического и про-

изводственного запаса» или по иной методике в зависимости от типа дефекта;

– конструктивная проработка изделия, поиск узких мест конструкции, рассмотрение факторов, влияющих на конструкцию изделия;

– анализ корректности технических требований на материалы и компоненты, входящие в состав танталовых конденсаторов в конструкторской документации.

2.2. Установление перечня ключевых (наиболее значимых или особо ответственных) технологических операций, обеспечивающих изготовление танталовых конденсаторов с требуемыми характеристиками, указанием применяемого оборудования и технологической оснастки, которые могут вызвать появление дефекта.

К базовым, наиболее значимым, ключевым технологическим операциям изготовления относятся:

– для танталовых объемно-пористых конденсаторов – прессование, спекание и оксидирование анода, сборка пакета анода, заливка электролита в корпус, приварка вывода (катодного/анодного), измерение электропараметров конденсаторов;

– для танталовых оксидно-полупроводниковых конденсаторов – прессование, спекание и оксидирование анода, нанесение катодного слоя (диоксида марганца), нанесение контактно-переходных покрытий, монтаж секций в корпус методом пайки (для корпусного исполнения) и посадка секций на выводную рамку и опрессовка (для чип-конструкции), измерение электропараметров конденсаторов.

Конкретные технологические операции выбираются исходя из установленного вида дефекта конденсатора. Возможен выбор другой технологической операции.

2.3. Разработка причинно-следственной диаграммы вероятности возникновения дефекта по

методу Исикавы на ключевых технологических операциях (критичных стадиях производства) танталовых конденсаторов с учетом потенциальных установленных причин возникновения дефекта.

Пример приведен на рисунке.



Типовая причинно-следственная диаграмма для анализа качества производственного процесса танталового конденсатора

2.4. Установление баллов значимости в соответствии с табл. 3 для каждой возможной причины на каждой ключевой причинно-следственной диаграмме.

2.5. Выбор наиболее значимых ключевых технологических операций и вероятных причин возникновения дефекта исходя из представленных баллов значимости.

2.6. Статистический анализ показателей качества технологического процесса танталового конденсатора на выбранных по п. 2.5 наиболее значимых ключевых технологических операциях в базисном периоде Δt :

– анализ пооперационного процента выхода годных (с указанием отклонений от стабильности и причин появления отклонений):

$$K_{в.г}(t) = \frac{N_{год}(t)}{N_0(t)} \cdot 100 \%,$$

где $N_{год}(t)$ – количество годных изделий в базисном периоде, шт.; $N_0(t)$ – количество изделий, запущенных в производство в базисном периоде;

– анализ коэффициента стабильности выхода годных:

$$K_{ст}(t) = \frac{K_{в.г \min}(t)}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m K_{в.г}(t)} \cdot 100 \%,$$

где $K_{в.г \min}(t)$ – минимальное значение процента выхода годных в базисном периоде Δt ;
 $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m K_{в.г}(t)$ – среднее значение процента выхода годных в базисном периоде Δt ;

– оценка уровня технологической дисциплины при производстве танталовых конденсаторов (с указанием отклонений от технологической дисциплины, даты и причины отклонений):

$$K_{т.д}(t) = \frac{K_0(t)}{\sum_{i=1}^m K_i(t)} \cdot 100 \%,$$

где $K_0(t)$ – количество операций из числа проверенных без нарушения технологической дисциплины; $\sum_{i=1}^m K_i(t)$ – общее количество проверенных операций;

– статистическая оценка показателей надежности, точности, стабильности технологического процесса по методике ГОСТ РВ 20.39.412–97 «Комплексная система контроля качества изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования к системе качества». В качестве методов наибольшей объективности рекомендуется использовать метод отбора вслепую и метод систематического отбора.

3. Анализ качества танталового конденсатора с учетом корреляции производственного и эксплуатационного этапов.

3.1. Оценка значимости последствия дефекта путем определения балла значимости S для каждого последствия дефекта танталового конденсатора в соответствии с разработанной шкалой баллов значимости (см. табл. 3).

3.2. Оценка вероятности возникновения каждой потенциальной причины дефекта танталового конденсатора путем определения балла вероятности возникновения O в соответствии с табл. 4.

Снижение балла возникновения может быть достигнуто только устранением или предупреждением одной или более причин или механизмов возникновения данного вида дефекта.

3.3. Оценка сложности обнаружения причины возникновения дефекта.

Установление балла сложности обнаружения D в ходе технологического цикла изготовления для дефекта и каждой отдельной причины возникновения дефекта танталовых конденсаторов в соответствии с табл. 5 на базе предыдущего опыта по обнаружению аналогичных причин дефектов при соответствующих методах обнаружения в производственном процессе.

Таблица 4. Рекомендуемые корреляционные баллы возникновения причины дефекта O

Вероятность возникновения дефекта	Описание	Возможная частота дефектов	Балл O
Сверхвысокая	Дефект неизбежен	Более 1 из 2	10
Очень высокая	Дефект возникает почти всегда	1 из 5	9
Высокая	Дефект ассоциируется с аналогичными процессами, которые часто отказывают	Более 1 из 10	8
Средняя высокая		1 из 25	7
Умеренная	Дефект ассоциируется с предыдущими процессами, у которых наблюдались случайные дефекты, но не в большой пропорции	Более 1 из 100	6
Средняя умеренная		1 из 500	5
Низко умеренная		1 из 2000	4
Низкая	Отдельные дефекты, связанные с подобными процессами	Более 1 из 10000	3
Очень низкая	Отдельные дефекты, связанные с почти идентичными процессами	Более 1 из 100000	2
Малая	Дефект маловероятен. Дефекты никогда не связаны с такими же идентичными процессами	Менее 1 из 1000000	1

Таблица 5. Рекомендуемые корреляционные баллы сложности обнаружения причины D

Вероятность обнаружения *	Критерии оценки на контрольных операциях (операциях проверки качества)	Балл D
Почти невозможно	Известный метод контроля для обнаружения вида дефекта в производственном процессе отсутствует	10
Очень плохое	Очень низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	9
Плохое	Низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	8
Очень слабое	Очень низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	7
Слабое	Низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	6
Умеренное	Умеренная вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	5
Умеренно хорошее	Умеренно высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	4
Хорошее	Высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	3
Очень хорошее	Очень высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	2
Почти наверняка	Действующий контроль почти наверняка обнаружит вид дефекта. Для подобных процессов известны надежные методы контроля	1

* Вероятность обнаружения дефекта предполагаемыми методами и имеющимися средствами контроля при оценке качества до следующей или последующей операции или до того, как конденсатор будет полностью изготовлен.

3.4. Оценка комплексного риска возникновения дефектов танталовых конденсаторов.

Вычисление комплексного риска (КР) возникновения дефекта на основе экспертных оценок (S, O, D) по формуле

$$КР = S \cdot O \cdot D. \quad (8)$$

Для дефектов, имеющих несколько причин возникновения, вычисляют, соответственно, несколько КР. При расчете КР используют один максимальный балл значимости S из всех последствий данного дефекта. Рекомендуется сначала рассматривать дефекты или причины с высокими рангами значимости ($S = 8..9$). Для дефектов или причин с рангом значимости ≤ 8 рассматриваются причины, имеющие высокие баллы возникновения или обнаружения.

3.5. Сравнение комплексного риска КР с критической границей $КР_{гр}$. Для танталовых конденсаторов в рамках приоритетного числа риска возникновения дефекта критическую границу $КР_{гр}$ установить 125; по решению функциональной команды в некоторых случаях значение $КР_{гр}$ может быть установлено менее 100.

3.6. Разработка перечня дефектов или потенциальных причин дефекта с $КР \geq КР_{гр}$, ранжируя КР от максимального значения до минимального.

3.7. Установление наиболее вероятных причин или механизмов возникновения дефектов танталовых конденсаторов на основе разработанного по п. 3.6 перечня.

4. Разработка корректирующих или предупреждающих мероприятий и оценка их эффективности путем проставления новых экспертных оценок S, O, D и оценки комплексного риска КР возникновения дефекта.

Апробация методики системного статистического анализа качества претензионных танталовых конденсаторов

За базисный период Δt принят один календарный год (2017 г.).

Проведен статистический анализ всех претензионных конденсаторов производства ОАО «Элеконд» в базисном периоде по сериям К52, К53 (корпусного и чип-исполнения) в независимости от того, были ли они признаны дефектными по вине потребителя или по вине изготовителя или соответствовали требованиям технических условий. В ходе статистического анализа установлено, что наиболее возвращаемыми изделиями являются конденсаторы серии К53 по дефектам внешнего вида и несоответствию электрических параметров; серия К52 – наименее претензионная.

По серии конденсаторов К53 корпусного исполнения претензии возникают, как правило, по внешнему виду; среди них наиболее распространенные дефекты, обнаруживаемые на входном контроле, как правило, с учетом применения 3-, 4-, 10- или 16-кратных средств увеличения, что не регламентируется методиками, действующими в ОАО «Элеконд», и нормативными отраслевыми документами: повреждение покрытия выводов до основного металла, дефекты стекла изолятора, дефекты паяного соединения; для чип-конструкции имеют место дефекты внешнего вида – дефекты корпуса при поставке и в процессе монтажа (трещины, сколы, поры), несоответствие по электрическим параметрам – при входном контроле, короткое замыкание, пробой и как следствие – обугливание корпуса или полное сгорание конденсатора, большие токи утечки – в процессе эксплуатации. Наиболее важным для рассмотрения дефектом конденсаторов К53 чип-исполнения является дефект «короткое замыкание, пробой», так как сопровождается не только полной потерей работоспособности изделия, но и повреждением платы (блока, модуля) вследствие обугливания или полного сгорания конденсатора. При этом в результате статистической оценки установлено, что 64 % дефектных изделий К53 чип-исполнения по дефекту «пробой, обугливание корпуса» возвращено в течение базисного периода одним потребителем.

Среди несоответствия требованиям документов на поставку среди конденсаторов серии К52 наиболее значимым за базисный период является дефект «обрыв вывода» (катодного и анодного). Для сравнения: в 2017 г. по данному дефекту возвращено 7 шт., из них признано по вине изготовителя – 2 шт.; в предыдущем периоде – 2016 г. – аналогичные значения.

Выводы

1. Метод позволяет наиболее точно оценить возможные потенциальные дефекты танталовых конденсаторов, в том числе оценить влияние дефектов комплектующих изделий, материалов на основе опыта изготовления, испытаний и эксплуатации конденсаторов данного типа, опыта фактических действий и возможных ошибок в процессе производственных, в том числе сборочных операций. При этом для каждого возможного дефекта методика позволяет определить потенциальные причины или механизмы возникновения, и определить их последствия с учетом влияния дефектов на функциональность и работоспособность конденсатора, учитывая иерархические связи между готовым

конденсатором и его комплектующими изделиями или материалами.

2. Представленная методика системного межэтапного функционального анализа качества танталовых конденсаторов позволяет управлять качеством танталовых конденсаторов на основе учета видов и последствий потенциальных дефектов, возникающих на этапах технологического процесса и обнаруживаемых в процессе испытаний и эксплуатации конденсаторов.

3. Проведена первичная апробация методики системного статистического анализа качества танталовых конденсаторов в ОАО «Электонд». Установлено, что наиболее значимыми дефектами конденсаторов, которые следует рассмотреть по методике, являются:

– по конденсаторам К53 чип-исполнения – короткое замыкание, пробой, и как следствие – частичное или полное обугливание корпуса или возгорание конденсатора;

– по серии К52 – обрыв вывода.

Авторы выражают благодарность по созданию методики коллективу специалистов отдела технического контроля ОАО «Электонд».

Библиографические ссылки

1. Исследование влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов / В. А. Кузнецова, П. Л. Кузнецов, Е. А. Беляева, В. В. Муравьев // Интеллектуальные системы в производстве. 2013. № 2. С. 140–143.

2. 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.

3. Кузнецов П. Л., Кузнецова В. А., Ломаев Г. В. Исследование влияния характеристик технологического процесса изготовления на изменения эксплуатационных характеристик танталовых объемно-пористых конденсаторов во времени // Вестник ИжГТУ. 2014. № 1(61). С. 11–15.

4. Барсуков В. К., Сибгатуллин Б. И. Стенд для испытаний танталовых конденсаторов импульсным током // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. № 3(27). С. 63–66.

5. Арефьев И. Б., Клавдиев А. А., Воловик А. В. Метод оценки технического уровня изделия по мониторингу рекламаций в системе управления качеством производства // Программные продукты и системы. 2014. № 3(107). С. 86–92.

63. Вахрушева Н. О. Совершенствование системы менеджмента качества организаций с использованием контроллинга : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Наталья Олеговна Вахрушева. Ижевск, 2010.

7. Воронцов В. Н. Контроль качества и прогнозирование надежности изделий электронной техники

Получено 06.02.2018

по электрофизическим параметрам : дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / Владимир Николаевич Воронцов. СПб., 2002. 308 с.

8. Предотвращение отказов танталовых чип-конденсаторов на этапе производства / С. В. Горелов, Е. С. Игнатенко, К. Н. Морев, В. И. Никулин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2016. № 3-4. С. 135–138.

9. Кай А. Танталовые конденсаторы. Особенности применения. Ч 1 // Электронные компоненты. 2000. № 3. С. 21–23.

10. Кай А. Танталовые конденсаторы. Особенности применения. Ч. 2 // Электронные компоненты. 2000. № 4. С. 30–35.

11. Кай А. Танталовые конденсаторы. Особенности применения. Ч 3 // Электронные компоненты. 2000. № 5. С. 32–35.

12. Назаренко М. А., Баранова И. А., Хронусова Т. В. Современное моделирование процессов рекламационной деятельности // Методы менеджмента качества. 2017. № 5. С. 40–44.

References

1. Kuznetsova V. A., Kuznetsov P. L., Belyaeva E. A., Murav'ev V. V. (2013). *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intellectual systems in production], no. 2, pp. 140-143.

2. Kuznetsova V. A., Kuznetsov P. L., Murav'ev V. V. (2013). *Vestnik IzhGTU* [Bulletin ISTU], no. 3(59), pp. 88-91 (in Russ.).

3. Kuznetsov P. L., Kuznetsova V. A., Lomaev G. V. (2014). *Vestnik IzhGTU* [Bulletin of ISTU], no. 1(61), pp. 11-15 (in Russ.).

4. Barsukov V. K., Sibgatullin B. I. (2015). *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intellectual systems in production], no. 3(27), pp. 63-66 (in Russ.).

5. Aref'ev I. B., Klavdiev A. A., Volovik A. V. (2014). *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems], no. 3(107), pp. 86-92 (in Russ.).

6. Vakhrusheva N. O. (2010). *Sovershenstvovanie sistemy menedzhmenta kachestva organizatsii s ispol'zovaniem kontrollinga* [Perfection of the quality management system of organizations using controlling], PhD thesis. Izhevsk (in Russ.).

7. Vorontsov V. N. (2002). *Kontrol' kachestva i prognozirovanie nadezhnosti izdelii elektronnoi tekhniki po elektrofizicheskim parametram* [Quality control and prediction of reliability of electronic equipment products by electro-physical parameters]: PhD thesis. St. Petersburg (in Russ.).

8. Gorelov S. V., Ignatenko E. S., Morev K. N., Nikulin V. I. (2016). *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific problems of transport in Siberia and the Far East], no. 3-4, pp. 135-138 (in Russ.).

9. Kai A. (2000). *Elektronnye komponenty* [Electronic Components], no. 3, pp. 21-23 (in Russ.).

10. Kai A. (2000). *Elektronnye komponenty* [Electronic Components], no. 4, pp. 30-35 (in Russ.).

11. Kai A. (2000). *Elektronnye komponenty* [Electronic Components], no. 5, pp. 32-35 (in Russ.).

12. Nazarenko M. A., Baranova I. A., Khronusova T. V. (2017). *Metody menedzhmenta kachestva* [Methods of quality management], no. 5, pp. 40-44.