ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70293— 2022

Системы автоматизированного проектирования электроники

ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА» (ООО «НИИ «АСОНИКА»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 августа 2022 г. № 785-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Сокращения 2
3 Общие положения 2
4 Технология автоматизированного анализа показателей надежности ЭА на основе комплексной модели надежности 2
5 Требования к подсистеме автоматизированного анализа показателей надежности ЭА 5
6 Требования к программному обеспечению по математическому моделированию и виртуальным испытаниям ЭКБ и ЭА на ВВФ при проектировании 6
Приложение А (справочное) Пример автоматизированного анализа показателей надежности ЭА в подсистеме «АСОНИКА-Б» с применением математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ 8
Приложение Б (справочное) Пример полностью оформленного отчета автоматизированного анализа показателей надежности ЭА в подсистеме «АСОНИКА-Б» 13
Библиография 23

Введение

Причиной разработки стандарта является необходимость автоматизированного анализа показателей надежности электронной аппаратуры (ЭА) на ранних этапах проектирования ЭА на основе математического моделирования и виртуальных испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ) и ЭА на внешние воздействующие факторы (ВВФ) и карт рабочих режимов (КРР) ЭКБ для снижения затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

Стандарт распространяется на показатели надежности ЭА. Его целью является автоматизация анализа показателей надежности ЭА с применением математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ и КРР ЭКБ, снижение затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

Применение математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ и КРР ЭКБ на ранних этапах проектирования до изготовления опытного образца позволит избежать отказов ЭКБ и ЭА или значительно сократить их на этапе испытаний опытного образца, сокращая тем самым количество испытаний опытного образца, возможные итерации по доработке схем и конструкций, затраты на разработку ЭКБ и ЭА при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы, делая ЭКБ и ЭА конкурентоспособными на отечественном и международном рынке [1]—[3].

Использование при анализе показателей надежности ЭА натурных испытаний ЭА на ВВФ невозможно, так как анализ показателей надежности ЭА проводится еще до изготовления опытного образца. Виртуализация испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ при анализе показателей надежности ЭА является безальтернативной. Без применения математического моделирования нельзя определить температуры ЭКБ и другие параметры моделей надежности. Такой подход является информативным, так как благодаря ему на этапе проектирования отслеживается большинство возможных отказов ЭКБ и ЭА по электрическим, тепловым и механическим характеристикам, и эффективным, так как из-за недоработок проектирования ЭКБ и ЭА, вскрытых уже путем натурных испытаний, возможно множество итераций: доработка проекта — испытания опытного образца — доработка проекта и т. д., что значительно увеличивает сроки и стоимость разработки.

Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме автоматизированного анализа показателей надежности ЭА на основе математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ при проектировании и КРР ЭКБ.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы автоматизированного проектирования электроники

ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Electronics automated design systems.
Subsystem for automated analysis of reliability indicators for electronic equipment

Дата введения — 2022—10—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт предназначен для применения предприятиями промышленности и организациями при использовании цифровых двойников электроники и CALS-технологий на ранних этапах проектирования, изготовления и испытаний ЭКБ и ЭА, а также на всех последующих этапах жизненного цикла ЭКБ и ЭА.

1.1.1 Подсистема автоматизированного анализа показателей надежности электронной аппаратуры на ранних этапах проектирования ЭА по результатам математического моделирования ЭКБ и ЭА на ВВФ применяется на ранних этапах проектирования ЭА следующего назначения: промышленная, для энергетики, оборонно-промышленного комплекса, аэрокосмической отрасли, судостроения, медицинская, автомобильная, для навигации и радиолокации, потребительская, для фискального и торгового оборудования, связи (телекоммуникации), вычислительной техники, для автоматизации и интеллектуального управления, систем безопасности, светотехники, автоматизированного транспорта и движущейся робототехники.

1.1.2 ЭА состоит из электронных шкафов и блоков, печатных узлов и ЭКБ (микросхем, транзисторов, резисторов и т. д.).

1.1.3 На ЭКБ и ЭА оказывают влияние внешние дестабилизирующие факторы — электрические, тепловые, механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитные, специальных сред и термические. Внешние дестабилизирующие факторы могут приводить к несоответствиям ЭКБ и ЭА требованиям к их прочности и устойчивости к ВВФ. Настоящий стандарт устанавливает основные положения технологии, позволяющей проводить анализ показателей надежности электронной аппаратуры на основе математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ при проектировании.

1.2 Анализ показателей надежности ЭА должен осуществляться на ранних этапах проектирования ЭА посредством проведения математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ при проектировании. Электрические характеристики ЭКБ определяются путем расчетов по схемам или по результатам инструментальных измерений на макетах.

1.3 Для анализа показателей надежности ЭА методом математического моделирования (виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ) должны применяться аттестованные программные средства, а при необходимости — аттестованные программно-аппаратные средства. Требования к программно-аппаратным средствам устанавливаются по согласованию с заказчиками.

Издание официальное

2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

БД — база данных;
ВВФ — внешние воздействующие факторы;
КРР — карты рабочих режимов;
НТД — нормативно-техническая документация;
ПУ — печатный узел;
САПР — система автоматизированного проектирования;
ТЗ — техническое задание;
ЭА — электронная аппаратура;
ЭКБ — электронная компонентная база

3 Общие положения

3.1 Целью разработки настоящего стандарта является установление требований к автоматизированному анализу показателей надежности ЭА на основе математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ и КРР ЭКБ.

Для достижения поставленной цели в стандарте устанавливаются следующие единые требования:

- к технологии автоматизированного анализа показателей надежности ЭА на основе комплексной модели надежности;
- подсистеме автоматизированного анализа показателей надежности ЭА;
- подсистеме автоматизированного создания КРР ЭКБ;
- программному обеспечению по математическому моделированию и виртуальным испытаниям ЭКБ и ЭА на ВВФ при проектировании.

3.2 Организация работ по применению технологии автоматизированного анализа показателей надежности ЭА на основе математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ при проектировании устроена следующим образом.

3.2.1 Разработчики схем ЭА получают и передают все электрические характеристики, необходимые для КРР ЭКБ, работникам подразделения предприятия, на которое возложена обязанность выпуска КРР ЭКБ.

3.2.2 Разработчики конструкций ЭА получают и передают все тепловые и механические характеристики, необходимые для КРР ЭКБ, работникам подразделения предприятия, на которое возложена обязанность выпуска КРР ЭКБ.

3.2.3 Разработчики подразделения предприятия, на которое возложена обязанность выпуска КРР ЭКБ, получают и передают все КРР ЭКБ работникам подразделения предприятия, на которое возложена обязанность анализа показателей надежности ЭА.

3.2.4 Работники подразделения предприятия, на которое возложена обязанность заполнения БД ЭКБ и материалов, регулярно для новой ЭКБ заносят в БД ЭКБ всю информацию, необходимую для анализа показателей надежности ЭА и для математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ при проектировании.

4 Технология автоматизированного анализа показателей надежности ЭА на основе комплексной модели надежности

4.1 Конечной целью автоматизированного анализа является обеспечение требуемых показателей надежности ЭА в условиях ВВФ на основе комплексной модели надежности ЭА.

4.2 Комплексную модель надежности ЭА создают на основе сквозного автоматизированного моделирования физических процессов. Таким образом, предварительно обязательно проводят моделирование всех физических процессов в ЭА, так как на надежность ЭА оказывают влияние ВВФ — электрические, тепловые, механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитные, специальных сред и термические.

4.3 Показатели надежности ЭА определяют исключительно по результатам их моделирования на ВВФ.

4.4 Под комплексностью понимается учет при анализе надежности всего комплекса ВВФ, включающих прежде всего тепловые, механические, электромагнитные воздействия. В состав программного обеспечения виртуальных испытаний на надежность должны входить модули по анализу электрических, тепловых, механических, электромагнитных процессов в ЭА, созданию КРР ЭКБ и анализу показателей надежности. На рисунке 4.1 приведена структура комплексной модели надежности, основанной на виртуальных испытаниях ЭА на внешние тепловые и механические воздействия.

4.5 В процессе проектирования на базе подсистемы управления данными при моделировании (PDM-системы) с использованием подсистем математического моделирования происходит формирование электронной модели цифрового двойника ЭА. С помощью специального графического редактора вводится электрическая схема, которая сохраняется в БД проектов в подсистеме управления данными и передается в виде файла в системы анализа электрических схем, а также в САПР печатных плат. Выходные файлы САПР печатных плат в стандартных форматах (например, PDIF и IDF) сохраняются в БД проектов в подсистеме управления моделированием и направляются в системы 3D-моделирования для создания чертежей.

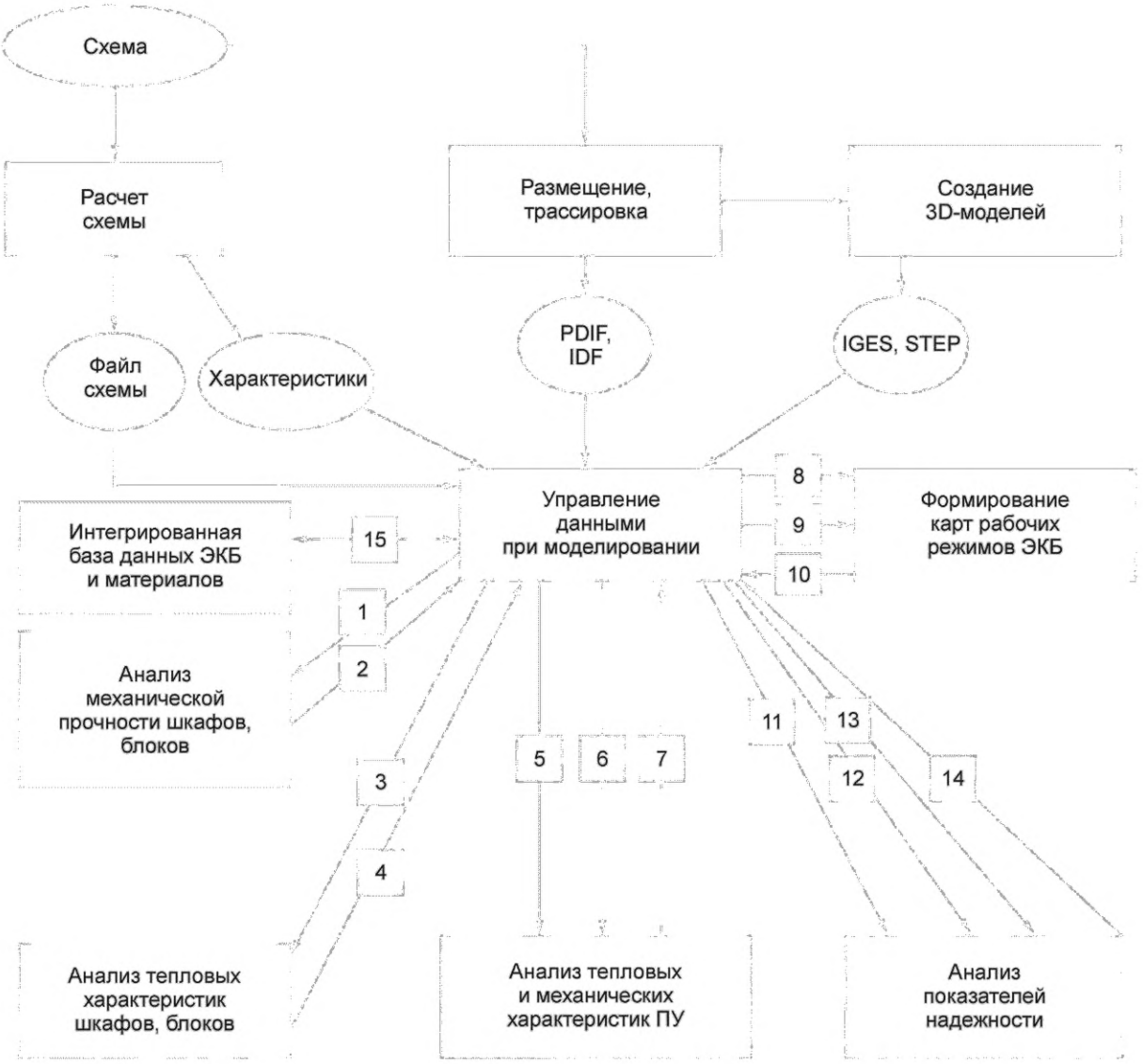


Рисунок 1 — Структура комплексной модели надежности, основанной на виртуальных испытаниях ЭА на внешние тепловые и механические воздействия

4.6 В БД проектов передаются 3D-модели шкафов и блоков ЭКБ и ЭА, созданные в системах 3D-моделирования в стандартных форматах (например, IGES и STEP), которые далее направляются в

подсистемы моделирования для анализа механических процессов в шкафах и блоках ЭА (1), а также в подсистему моделирования для анализа тепловых процессов в шкафах и блоках ЭА (3).

4.7 Полученные в результате моделирования ускорения и температуры в конструкциях шкафов и блоков сохраняются в подсистеме управления моделированием (2, 4). Чертежи ПУ и спецификации к ним, а также файлы в стандартных форматах передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ (5). В данную подсистему также передаются температуры воздуха в узлах, полученные в подсистеме моделирования тепловых процессах в шкафах и блоках ЭА, а также ускорения опор, полученные в подсистемах анализа механической прочности шкафов и блоков (6). Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭКБ сохраняются в подсистеме управления моделированием (7). Если они не превышают допустимые по НТД значения, то далее проводится анализ показателей надежности ЭКБ и ЭА. Если же превышают, то в электрическую схему и конструкцию ЭА вносятся изменения и расчеты повторяются.

4.8 Перечень ЭКБ, файлы с электрическими характеристиками ЭКБ (8), температурами и ускорениями ЭКБ (9) передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему автоматизированного создания КРР ЭКБ. Полученные в результате КРР сохраняются в подсистеме управления моделированием (10). Если электрические характеристики, температуры и ускорения ЭКБ «В схеме» не превышают значения «По НТД», то далее проводится анализ показателей надежности ЭКБ и ЭА. Если же превышают, то вносятся изменения в электрическую схему и конструкцию ЭА и расчеты температур, ускорений, а также создание КРР ЭКБ повторяются.

4.9 Перечень ЭКБ (11), файлы с электрическими характеристиками ЭКБ (12), температурами и ускорениями ЭКБ (13) передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему анализа показателей надежности ЭКБ и ЭА. Полученные в результате показатели надежности ЭКБ и ЭА сохраняются в подсистеме управления моделированием (14). Если они не превышают заданные в ТЗ значения, то далее проводится окончательное формирование КРР ЭКБ. Если же превышают, то в электрическую схему и конструкцию ЭА вносятся изменения и расчеты температур, ускорений и показателей надежности ЭКБ и ЭА повторяются.

4.10 Все необходимые для расчетов параметры ЭКБ и материалов автоматически считываются из интегрированной базы данных ЭКБ и материалов по геометрическим, физико-механическим, усталостным, теплофизическим, электрическим, электромагнитным и надежностным параметрам (15).

4.11 На первом этапе оцениваемыми характеристиками являются электрические, тепловые, механические, электромагнитные характеристики ЭА, которые не должны превышать максимально допустимые значения, заданные в нормативных документах и технической документации.

4.12 На втором этапе оцениваемыми характеристиками являются показатели надежности, полученные с учетом рассчитанных на первом этапе итоговых электрических, тепловых, механических, электромагнитных характеристик ЭА.

4.13 Оцениваемыми электрическими характеристиками являются электрические характеристики, необходимые для теплового расчета, расчета показателей надежности и формирования КРР ЭКБ.

4.14 Осуществляют интеграцию модуля ввода электрической схемы и следующих подсистем: анализа конструкций ПУ ЭА на тепловые и механические воздействия, автоматизированного создания КРР ЭКБ и автоматизированного анализа показателей надежности ЭА. Необходимо передать в эти подсистемы тестовый файл с перечнем ЭКБ, имеющий следующую структуру:

<Позиционное обозначение ЭКБ>:<Полная условная запись ЭКБ>

4.15 Осуществляют интеграцию модуля расчета электрической схемы и подсистемы анализа конструкций ПУ ЭА на тепловые и механические воздействия:

- результаты расчета мощностей тепловыделения ЭКБ в статическом и динамическом режимах сохраняют в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭКБ><Значение мощности в Вт>;

- данный текстовый файл передают в подсистему анализа конструкций ПУ ЭА на тепловые и механические воздействия;

- на основе полученных мощностей в подсистеме анализа конструкций ПУ ЭА на тепловые и механические воздействия рассчитывают температуры в конструкции ПУ, в том числе на каждом ЭКБ.

4.16 Осуществляют интеграцию модуля расчета электрической схемы и подсистемы автоматизированного создания КРР ЭКБ.

Электрические характеристики (токи, напряжения, мощности и др.), полученные в результате расчета электрической схемы, сохраняют в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭКБ><Сила тока в А><Напряжение в В><Мощность в Вт><др. возможные электрические характеристики>

Данный текстовый файл передают в подсистему автоматизированного создания КРР ЭКБ.

На основе полученных электрических характеристик в подсистеме автоматизированного создания КРР ЭКБ формируются КРР ЭКБ.

4.17 Осуществляют интеграцию подсистемы анализа конструкций ПУ ЭА на тепловые и механические воздействия и подсистемы автоматизированного создания КРР ЭКБ:

- результаты расчета температур ЭКБ сохраняют в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭКБ><Значение температуры в °С>;

- результаты расчета ускорений ЭКБ сохраняют в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭКБ><Значение ускорения вибрации в g><Значение ускорения единичного механического удара в g><Значение ускорения многократного механического удара в g>;

- данные текстовые файлы передают в подсистему автоматизированного создания КРР ЭКБ.

4.18 Осуществляют интеграцию подсистемы автоматизированного создания КРР ЭКБ и подсистемы автоматизированного анализа показателей надежности ЭА с учетом реальных режимов работы ЭКБ:

- электрические и тепловые характеристики сохраняют в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭКБ><Электрические характеристики><Значение температуры в °С>;

- данный текстовый файл передают в подсистему автоматизированного анализа показателей надежности ЭА;

- на основе полученных электрических и тепловых характеристик в подсистеме автоматизированного анализа показателей надежности ЭА рассчитывают показатели надежности ЭА, в том числе каждого ЭКБ.

4.19 В результате получается система сквозного проектирования:

Расчет электрической схемы → Расчет температур ЭКБ → Формирование КРР ЭКБ → Анализ показателей надежности ЭКБ.

В приложении А приведен пример комплексного анализа надежности.

5 Требования к подсистеме автоматизированного анализа показателей надежности ЭА

5.1 Подсистема автоматизированного анализа показателей надежности ЭА должна отвечать требованиям 1.3.

5.2 Подсистема должна позволять вводить позиционные обозначения и полные условные записи ЭКБ четырьмя способами.

5.2.1 Способ 1. Импорт выходного файла САПР печатных плат в формате ***IDF (PDIF)***, содержащего позиционные обозначения и полные условные записи ЭКБ. В процессе импорта параллельно должно идти обращение к БД ЭКБ, откуда считываются все необходимые параметры по надежности.

5.2.2 Способ 2. Импорт файла ****.txt***, содержащего позиционные обозначения и полные условные записи ЭКБ. В процессе импорта параллельно должно идти обращение к БД ЭКБ, откуда считываются все необходимые параметры по надежности.

5.2.3 Способ 3. Числовой ряд (таблица).

5.2.4 Способ 4. Ручной выбор ЭКБ, содержащегося в перечне, из БД ЭКБ с присвоением позиционных обозначений.

5.3 Подсистема должна позволять осуществлять импорт электрических характеристик и температур ЭКБ, в том числе из КРР ЭКБ.

5.4 Необходимо наличие базы данных, содержащей модели надежности и параметры моделей надежности для отечественной электронной компонентной базы.

5.5 Необходимо выбрать режимы виртуальных испытаний на надежность:

а) нагруженную эксплуатацию;

б) режим ожидания (хранения) неподвижного объекта;

в) режим ожидания (хранения) подвижного объекта.

5.6 Подсистема должна поддерживать следующие виды резервирования:

а) пассивное резервирование с неизменной нагрузкой;

б) активное нагруженное резервирование;

в) активное ненагруженное резервирование;

г) активное облегченное резервирование.

5.7 Порядок проведения виртуальных испытаний

5.7.1 Задают группу аппаратуры.

5.7.2 Задают время безотказной работы, для которого рассчитывают вероятность безотказной работы, ч; показатель наработки до отказа γ, %; число контрольных точек; коэффициент запаса по сроку службы; коэффициент запаса по ресурсу; коэффициент среднегодовой нагрузки.

5.7.3 Выбирают режим эксплуатации: нагруженная эксплуатация, режим ожидания (хранения) неподвижного объекта, режим ожидания (хранения) подвижного объекта.

5.7.4 Задают условия эксплуатации в режиме ожидания (хранения): в отапливаемом помещении, в неотапливаемом помещении, под навесом.

5.8 Должны рассчитываться как минимум следующие показатели надежности (дополнительно могут быть добавлены другие показатели):

5.8.1 Показатели безотказности:

- эксплуатационная интенсивность отказов, $ч^{-1}$;
- средняя наработка до отказа, ч;
- вероятность безотказной работы;
- γ-процентная наработка до отказа, ч.

5.8.2 Показатели долговечности:

- полный срок службы, лет;
- полный ресурс, ч;
- γ-процентный срок службы, лет;
- γ-процентный ресурс, ч;
- остаточный ресурс, ч (учитывает колебания электрических характеристик схем и температур окружающей среды и ЭРИ).

5.8.3 Показатели ремонтопригодности:

- среднее время восстановления, ч.

5.8.4 Показатели сохраняемости:

- интенсивность отказов в режиме ожидания, $ч^{-1}$;
- средний срок сохраняемости, ч;
- γ-процентный срок сохраняемости, ч.

5.8.5 Показатели безопасности:

- назначенный ресурс, ч;
- назначенный срок службы, лет.

5.9 По результатам виртуальных испытаний подсистемой автоматически создается отчет, в котором указываются как исходные данные, так и результаты расчета. Показатели надежности рассчитывают как для ЭА в целом, так и для каждого отдельного ЭКБ. Делаются выводы о соответствии показателей надежности требованиям ТЗ на разработку изделия.

В приложении Б приведен пример полностью оформленного отчета.

6 Требования к программному обеспечению по математическому моделированию и виртуальным испытаниям ЭКБ и ЭА на ВВФ при проектировании

6.1 Программное обеспечение должно отвечать требованиям 1.3.

6.2 Подмодель тепловых процессов:

- отражает тепловые процессы в проектируемой конструкции, возникающие под влиянием воздействия окружающей среды, тепловыделений в ЭКБ и систем охлаждения;
- учитывает все способы передачи тепла в современных ЭКБ и ЭА;

- учитывает особенности конструктивного построения современных ЭКБ и ЭА и способы их охлаждения, что позволяет моделировать тепловые процессы с необходимой для инженерных расчетов точностью для широкого класса ЭКБ и ЭА.

6.3 Подмодель механических процессов:

- отражает механические процессы в проектируемой конструкции, возникающие под воздействием всего спектра механических воздействий (синусоидальная и случайная вибрации, одиночные и многократные удары);

- учитывает различные системы виброизоляции, применяемые в ЭКБ и ЭА;

- учитывает эффект внутреннего трения в материалах конструкций, анизотропность физико-механических параметров материалов конструкций, а также их зависимость от локальных перегревов участков конструкции, что позволяет более точно моделировать механические режимы работы ЭКБ и ЭА;

- учитывает особенности конструктивного построения современных ЭКБ и ЭА, способы их амортизации, что дает возможность с достаточной для инженерных расчетов точностью моделировать весь спектр механических характеристик широкого класса конструкций ЭКБ и ЭА.

Приложение А
(справочное)

Пример автоматизированного анализа показателей надежности ЭА в подсистеме «АСОНИКА-Б» с применением математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ

Подсистема автоматизированного анализа показателей надежности ЭА «АСОНИКА-Б» является одной из 13 подсистем автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры «АСОНИКА» (https://asonika-online.ru/), предназначенной для анализа и обеспечения стойкости ЭА и ЭКБ к комплексным тепловым, механическим, электромагнитным воздействиям, усталостной прочности к тепломеханическим воздействиям, создания карт рабочих режимов ЭКБ, анализа показателей надежности ЭА и создания цифровых двойников ЭА и ЭКБ.

«АСОНИКА» — это замена натурных испытаний опытных образцов ЭА и ЭКБ виртуальными испытаниями на внешние механические, тепловые, электромагнитные и другие воздействия еще до их изготовления. Это значительная экономия денежных средств и сокращение сроков создания ЭА и ЭКБ при одновременном повышении качества и надежности за счет сокращения количества натурных испытаний.

В качестве примера анализа показателей безотказности ПУ на основе комплексного моделирования физических процессов рассматривают процесс разработки ПУ, в ТЗ на который предусмотрено обеспечение безотказной работы ПУ в течение 10 000 ч с вероятностью не менее 0,95.

Вначале разрабатывают электрическую схему и проводят анализ электрических характеристик в системе PSpice. Затем в системе P-CAD формируют конструкцию ПУ.

В подсистеме «АСОНИКА-ТМ» конструкция ПУ конвертируется из системы P-CAD (рисунок А.1) и проводят моделирование тепловых и механических характеристик ПУ.

Результаты моделирования тепловых режимов показаны на рисунке А.2. По данным результатам автоматически формируются КРР ЭКБ в подсистеме «АСОНИКА-Р» (рисунки А.3—А.5). При этом температуры и ускорения ЭКБ переносятся в подсистему «АСОНИКА-Р» из подсистемы «АСОНИКА-ТМ», а токи и напряжения — из системы PSpice. Кроме того, конвертор PSpice — «АСОНИКА-Р» рассчитывает мощности тепловыделения каждого электронного компонента.

В подсистеме «АСОНИКА-Б» конструкция ПУ извлекается из системы P-CAD (перечень ЭКБ), а значения токов, напряжений, температур импортируются из подсистем «АСОНИКА-Р» и «АСОНИКА-ТМ».

С учетом реальных режимов работы рассчитывают показатели безотказности ПУ (рисунок А.6). По результатам этого расчета в подсистеме «АСОНИКА-Б» было определено, что вероятность безотказной работы ПУ в течение 10 000 ч составляет 0,92, что не отвечает требованиям ТЗ.

Из диаграмм вкладов ЭРИ в общую безотказность ПУ (рисунки А.7 и А.8) видно, что наименьшей надежностью обладают диод V1 и резистор R2.

Чтобы повысить отказоустойчивость ПУ, было решено понизить нагрузки на диод V1 и внести соответствующие изменения в схему ПУ. Для повышения отказоустойчивости резистора были приняты два решения: понизить температуру путем перекомпоновки ЭКБ, а также ввести резервирование (рисунок А.9).

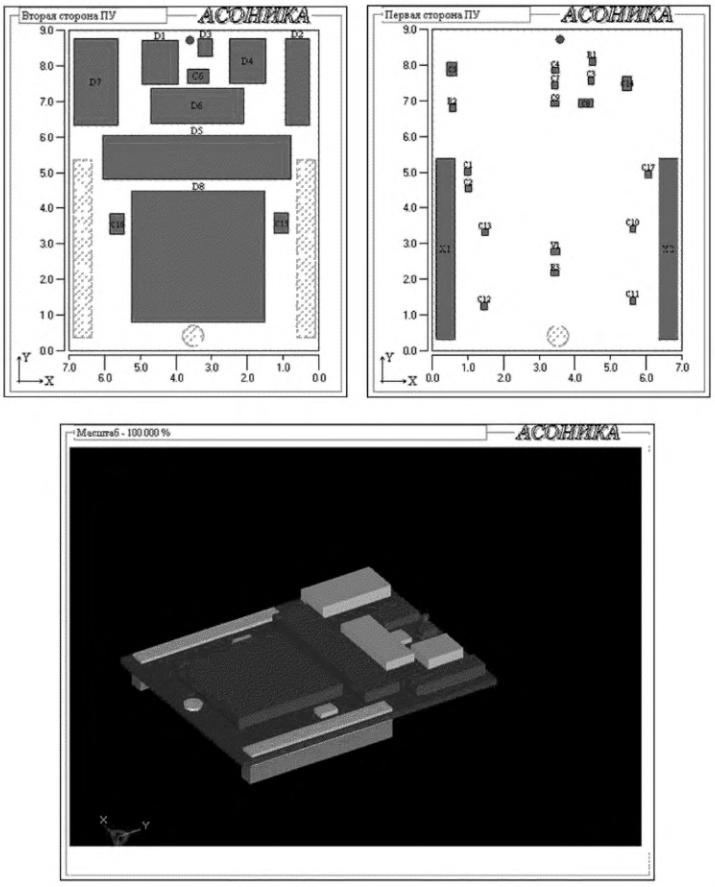
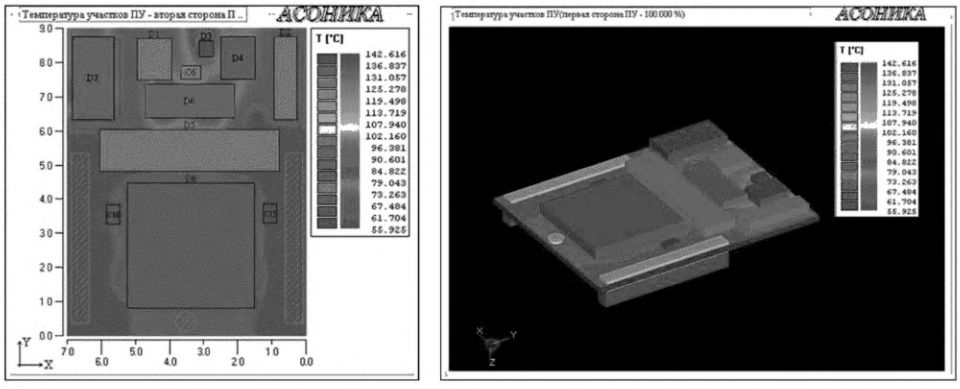


Рисунок А.1 — Конструкция ПУ, конвертированная из системы P-CAD



КАРТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ
(при стационарном тепловом воздействии)

N п/п	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРИ	СТОРОНА	ТЕМПЕРАТУРА ЭРИ: РАСЧЕТНАЯ, [°C]	ТЕМПЕРАТУРА ЭРИ: МАКСИМАЛЬНАЯ ДОПУСТИМАЯ ПО Т.У., [°C]	КОЭФ-ЕНТ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ЭРИ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРЕВ ЭРИ, [°C]
1	2	3	4	5	6	7
1	C4	1	65.56	125.00	0.524	
2	C10	1	61.84	125.00	0.495	
3	X1	1	55.93	125.00	0.447	
4	X2	1	56.03	125.00	0.448	
5	R2	1	109.83	125.00	0.879	
6	R3	1	62.55	125.00	0.500	
7	R1	1	110.94	125.00	0.888	
8	V1	1	62.32	125.00	0.499	
9	C5	1	65.32	125.00	0.523	
10	C7	1	72.84	125.00	0.583	
11	C9	1	68.63	125.00	0.549	
12	C14	1	64.29	125.00	0.514	
13	C3	1	70.88	125.00	0.567	
14	C8	1	81.76	125.00	0.654	
15	C1	1	57.73	125.00	0.462	
16	C2	1	58.14	125.00	0.465	
17	C11	1	61.10	125.00	0.489	
18	C12	1	64.51	125.00	0.516	
19	C13	1	65.48	125.00	0.524	
20	C17	1	57.96	125.00	0.464	
21	D5	2	75.47	125.00	0.604	
22	D1	2	76.10	125.00	0.609	
23	D2	2	73.45	125.00	0.588	
24	D3	2	142.62	125.00	1.141	17.62
25	D8	2	72.91	125.00	0.583	
26	D6	2	92.41	125.00	0.739	
27	D7	2	86.31	125.00	0.690	
28	D4	2	83.47	125.00	0.668	
29	C6	2	78.75	125.00	0.630	
30	C16	2	63.53	125.00	0.508	
31	C15	2	59.65	125.00	0.477	

Рисунок А.2 — Результаты моделирования тепловых режимов

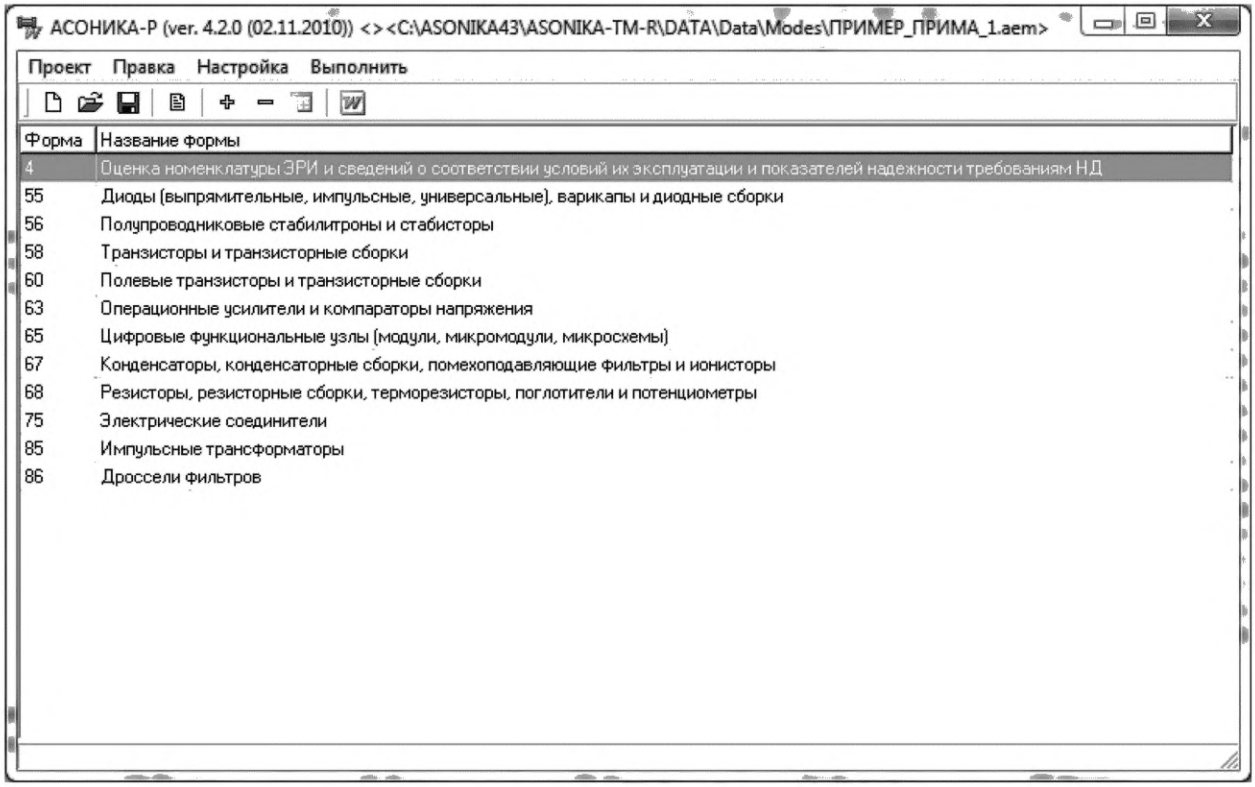


Рисунок А.3 — Диалоговое окно для формирования КРР

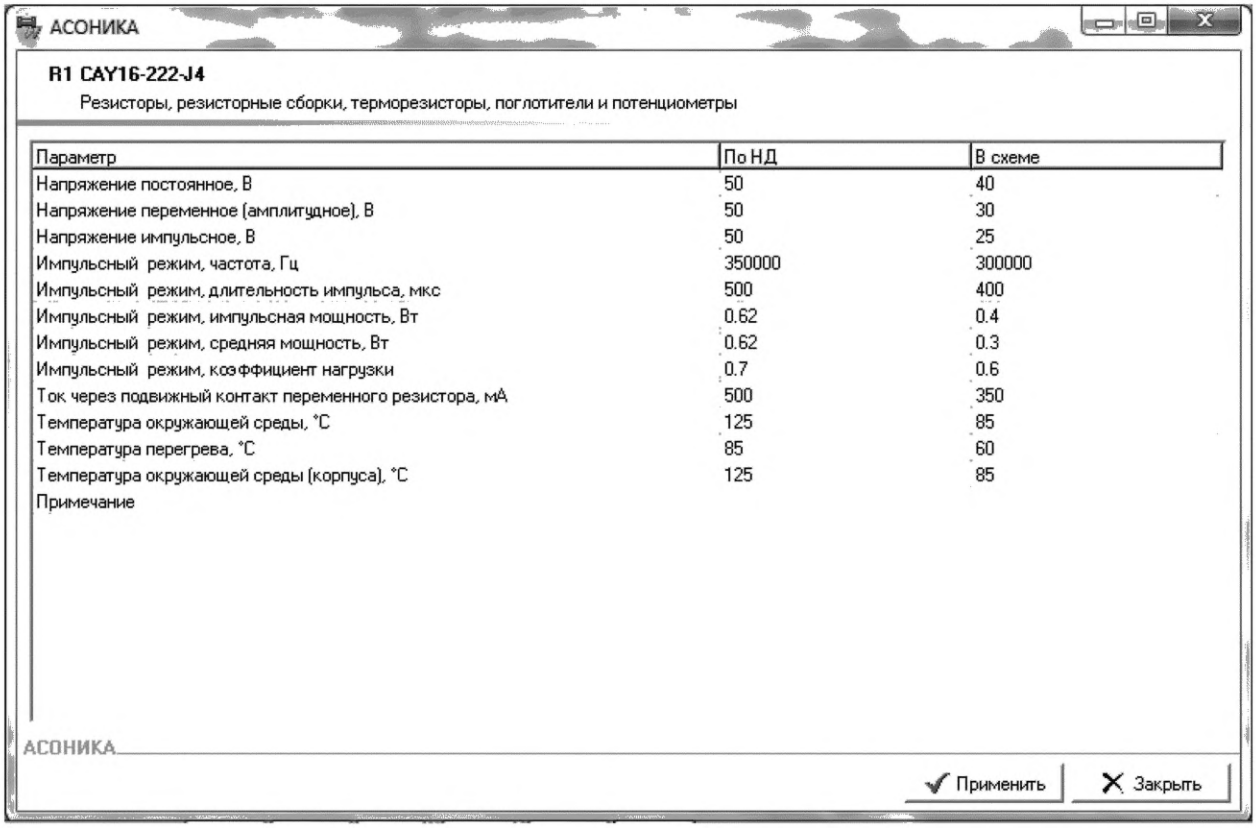
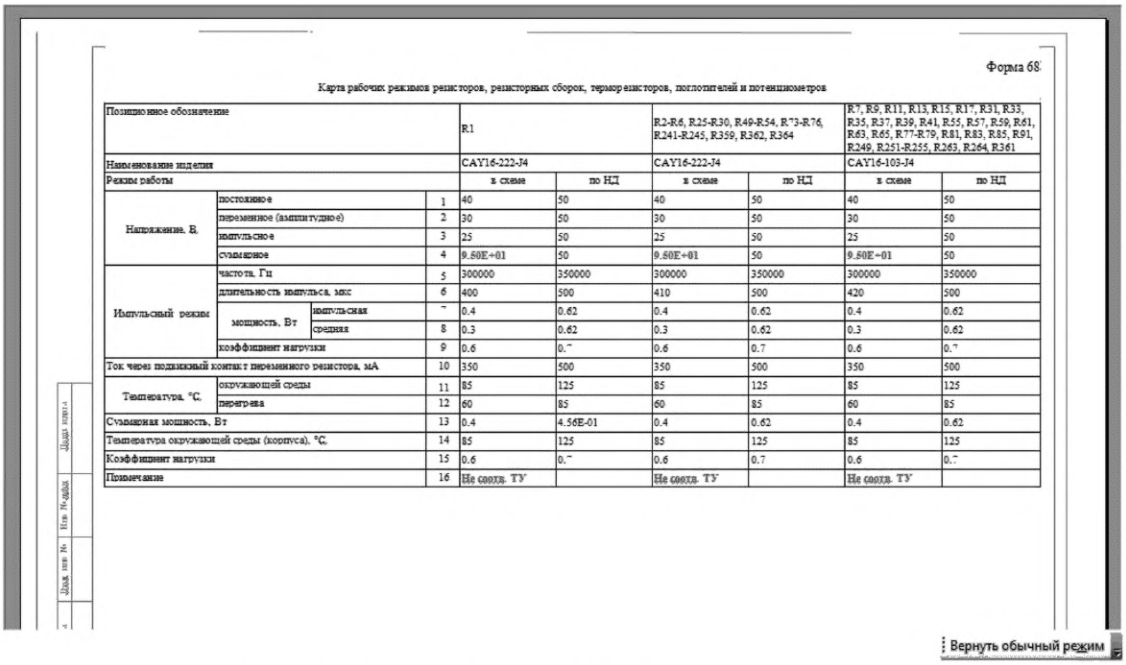


Рисунок А.4 — Диалоговое окно для задания исходных данных в подсистеме «АСОНИКА-Р»



Форма 68

Карта рабочих режимов резисторов, резисторных сборок, терморезисторов, поглотителей и потенциометров

Позиционное обозначение			R1		R2-R6, R25-R30, R49-R54, R73-R76, R241-R245, R359, R362, R364		R7, R9, R11, R13, R15, R17, R31, R33, R35, R37, R39, R41, R55, R57, R59, R61, R63, R65, R77-R79, R81, R83, R85, R91, R249, R251-R255, R263, R264, R361	
Наименование изделия			CAY16-222-J4		CAY16-222-J4		CAY16-103-J4	
Режим работы			в схеме	по НД	в схеме	по НД	в схеме	по НД
Напряжение, В,	постоянное	1	40	50	40	50	40	50
	переменное (амплитудное)	2	30	50	30	50	30	50
	импульсное	3	25	50	25	50	25	50
	суммарное	4	9.50E+01	50	9.50E+01	50	9.50E+01	50
Импульсный режим	частота, Гц	5	300000	350000	300000	350000	300000	350000
	длительность импульса, мкс	6	400	500	410	500	420	500
	мощность, Вт, импульсная	7	0.4	0.62	0.4	0.62	0.4	0.62
	мощность, Вт, средняя	8	0.3	0.62	0.3	0.62	0.3	0.62
	коэффициент нагрузки	9	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7
Ток через подвижный контакт переменного резистора, мА		10	350	500	350	500	350	500
Температура, °С,	окружающей среды	11	85	125	85	125	85	125
	перегрева	12	60	85	60	85	60	85
Суммарная мощность, Вт		13	0.4	4.56E-01	0.4	0.62	0.4	0.62
Температура окружающей среды (корпуса), °С		14	85	125	85	125	85	125
Коэффициент нагрузки		15	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7
Примечание		16	Не соотв. ТУ		Не соотв. ТУ		Не соотв. ТУ	

Вернуть обычный режим

Рисунок А.5 — Вывод КРР в подсистеме «АСОНИКА-Р»

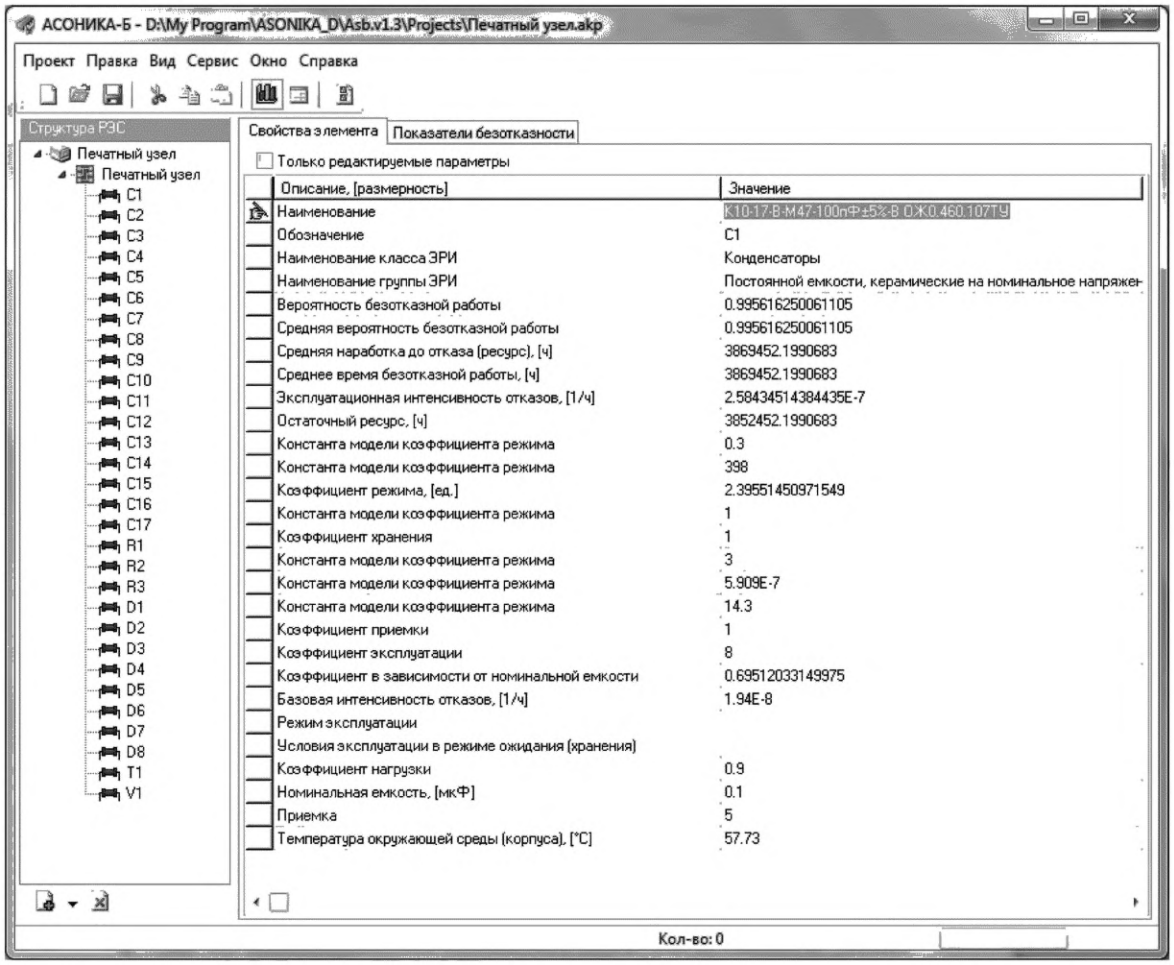


Рисунок А.6 — Анализ показателей надежности в подсистеме «АСОНИКА-Б»: задание исходных данных

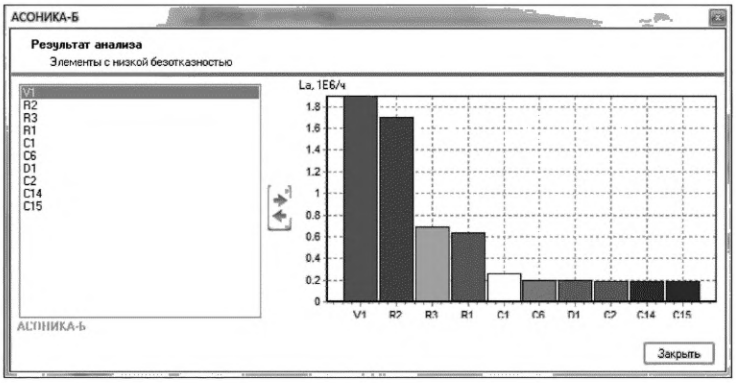


Рисунок А.7 — Анализ показателей надежности в подсистеме «АСОНИКА-Б»: ЭКБ с низкой безотказностью

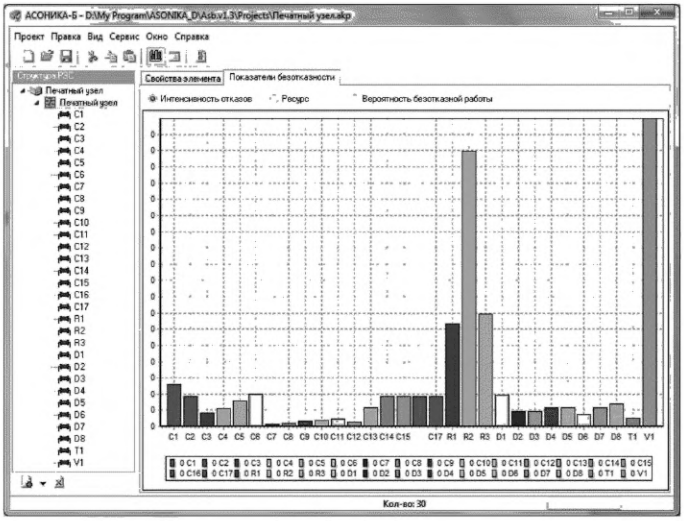


Рисунок А.8 — Анализ показателей надежности в подсистеме «АСОНИКА-Б»:
вклады ЭКБ в общую безотказность ЭА

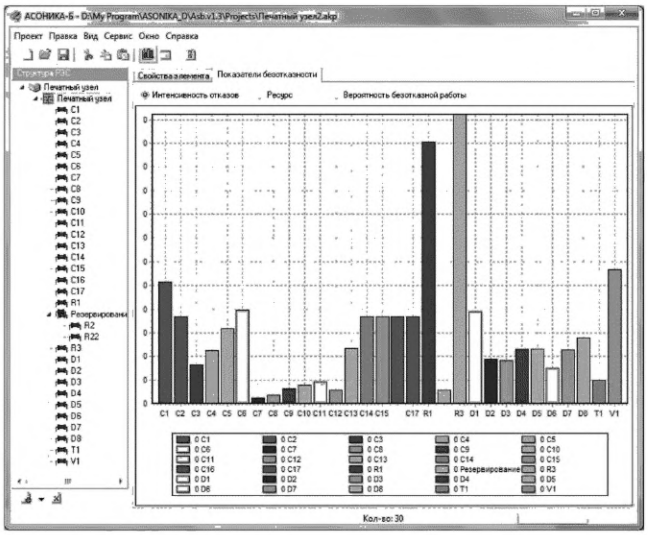


Рисунок А.9 — Вклады ЭКБ в общую безотказность ПУ после оптимизации конструкции

Приложение Б
(справочное)

Пример полностью оформленного отчета автоматизированного анализа показателей надежности ЭА в подсистеме «АСОНИКА-Б»

Утверждаю

Генеральный директор

ООО «НИИ «АСОНИКА»

_____ Шалумов А.С.

18 июня 2021 г.

БЛОК ЭЛЕКТРОНИКИ АД675

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ

АБВГ.123456.789 РР1

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Перв. примен. АБВГ.123456.789

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Содержание

1. ЗАДАЧА РАСЧЕТА 3
2. ДАННЫЕ И УСЛОВИЯ РАСЧЕТА 4
3. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ.....5
4. ВЫВОДЫ.....6
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....7
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....8

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 РР1		
Разраб.		Шалимов А.С.			БЛОК ЭЛЕКТРОНИКИ АД675 Расчет надежности	Лит.	Лист 2 / Листов 11
Пров.							
Н. контр.							
Утв.							

Копировал Формат А4

1. ЗАДАЧА РАСЧЕТА

Задачей расчета является определение количественного значения показателей надежности блока электроники АБВГ.123456.789 с помощью отечественной автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры «АСОНИКА» в соответствии с ГОСТ Р 60.0.7.3–2020 «Роботы и робототехнические устройства. Метод автоматического моделирования показателей надежности и виртуализации испытаний на надежность базовых элементов робототехнических комплексов при проектировании».

2. ДАННЫЕ И УСЛОВИЯ РАСЧЕТА

Исходными данными для проведения расчета надежности блока электроники являются:

- перечень электронной компонентной базы (ЭКБ);
- карты рабочих режимов ЭКБ.

Рассчитанные показатели надежности должны удовлетворять следующим требованиям технического задания (ТЗ) на разработку изделия:

1. Показатели безотказности:

- средняя наработка до отказа не менее 3000 ч;

2. Показатели долговечности:

- полный ресурс не менее 6 лет;
- полный срок службы не менее 6 лет;

3. Показатели ремонтопригодности:

- среднее время восстановления работоспособности изделия не должно превышать 60 мин.

4. Показатели сохраняемости:

- разрабатываемое изделие должно иметь средний срок сохраняемости не менее 5 лет.

3. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ

Показатели безотказности:

- Интенсивность отказов ($\lambda \cdot 10^{9}$, 1/ч): 18916.
- Средняя наработка до отказа ($T_р$, ч): 52865.

Показатели долговечности:

- Полный ресурс (лет): = 199.
- Полный срок службы (лет): = 50.

Показатели ремонтопригодности:

- Среднее время восстановления работоспособности (мин); 21.

Показатели сохраняемости:

- Интенсивность отказов ($\lambda \cdot 10^{9}$, 1/ч): 1614.086.
- Средний срок сохраняемости (лет): 70.

Перечень элементов, входящих в состав изделия, и их интенсивности отказов при расчете показателей безотказности, долговечности и ремонтопригодности приведены в ***приложении 1***.

Перечень элементов, входящих в состав изделия, и их интенсивности отказов при расчете показателей сохраняемости приведены в ***приложении 2***.

4. ВЫВОДЫ

В соответствии с ТЗ на разработку:

1. Показатели безотказности:

- средняя наработка до отказа должна быть не менее 3000 ч.

Расчетное значение составляет 52865 ч, что больше заданного показателя 3000 ч.

2. Показатели долговечности:

- полный ресурс не менее 6 лет.

Расчетное значение составляет 199 лет, что больше заданного показателя 6 лет;

- срок службы не менее 6 лет.

Расчетное значение составляет 50 лет, что больше заданного показателя 6 лет.

3. Показатели ремонтопригодности:

- среднее время восстановления работоспособности не должно превышать 60 мин.

Расчетное значение составляет 21 мин, что больше заданного показателя 60 мин.

4. Показатели сохраняемости:

- разрабатываемое изделие должно иметь средний срок сохраняемости не менее 5 лет.

Расчетное значение составляет 70 лет, что больше заданного показателя 5 лет.

Таким образом, показатели надежности блока электроники находятся в пределах заданных.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Перечень элементов, входящих в состав изделия, и их интенсивности отказов при расчете показателей безотказности, долговечности и ремонтопригодности

Таблица П1.1 – Соединители

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_б \cdot 10^9$, 1/ч	Kkk	Kr	Ke	Kt	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
X1.1	SMA-РПМП-Х-1-055-1-М ТУ 27.33.13.120-005-38970729-2019	10.2	3.4214	0.4814	1		21.7984
X8.3	ПКРГ-50-SMAp-SMAp-03-Г	0.83	9.5005	0.08871	1		0.4508
Kkk – коэффициент в зависимости от количества задействованных контактов; Kr – коэффициент режима в зависимости от электрической нагрузки и температуры; Ke – коэффициент эксплуатации; Kt – коэффициент в зависимости от температуры окружающей среды и материала изолятора.							

П1.1 Печатный узел «АБСД.11111111.001 – Плата усилителя»

Перечень элементов, входящих в состав, и их интенсивность отказов:

Таблица П1.5 – Конденсаторы

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_б \cdot 10^9$, 1/ч	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
Постоянной емкости, керамические на номинальное напряжение менее 1600 В					
C1	К10-84в-2012М-50 В-МП0-24 пФ±20 %-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	0.2583	1	3.1316
C12	К10-84в-2012М-50 В-Н90-0,1 мкФ-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	0.2583	1	8.5141
C12	К10-84в-2012М-16 В-Н20-0,1 мкФ±20 %-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	6.7665	1	223.0447

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 РР1	Лист 7

Копировал Формат А4

Kr – коэффициент режима в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды; Ke – коэффициент эксплуатации.

Таблица П1.8 – Резисторы

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_б \cdot 10^9$, 1/ч	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
Постоянные непроволочные, металлодиэлектрические (кроме прецизионных)					
R1	Р1-12-1,0-130 Ом±1 %-М-А ШКАБ.434110.002 ТУ	63	0.6161	1	58.2252
R4	Р1-12-0,125-49,9 Ом±1 %-М-А ШКАБ.434110.002 ТУ	63	0.6161	1	27.1718
Kr – коэффициент режима в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды; Ke – коэффициент эксплуатации.					

Таблица П1.29 – Полупроводниковые приборы

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_б \cdot 10^9$, 1/ч	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
СВЧ-диапазона, транзисторы СВЧ, большой мощности					
VT2	2Т9215А1 АЕЯР.432150.857 ТУ	1.8	0.2063	1	0.3714
СВЧ-диапазона, транзисторы СВЧ, сборки транзисторные СВЧ					
VT3	2П7240ГС9 АЕЯР.432140.605 ТУ	3.52000005245209	0.1819	1	0.3137
Кроме СВЧ-диапазона, ограничители напряжения					
D6	2Р303В92 АЕЯР.432120.772 ТУ	4.3	0.2452	1	1.0542
Кроме СВЧ-диапазона, диоды кремниевые, диоды импульсные					
D10	КДШ2165А9 АДКБ.432120.515 ТУ	15.0000005960464	0.09149	1	1.4109
Kr – коэффициент режима; Ke – коэффициент эксплуатации.					

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Перечень элементов, входящих в состав изделия, и их интенсивности отказов при расчете показателей сохраняемости

Таблица П2.1 – Соединители

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_б \cdot 10^9$, 1/ч	Kkk	Kr	Ke	Kt	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
X1.1	SMA-РПМП-Х-1-055-1-М ТУ 27.33.13.120-005-38970729-2019	10.2	3.4214	0.4814	1		0.4366
X8.3	ПКРГ-50-SMAр-SMAр-03-Г	0.83	9.5005	0.08871	1		0.4441
Kkk – коэффициент в зависимости от количества задействованных контактов; Kr – коэффициент режима в зависимости от электрической нагрузки и температуры; Ke – коэффициент эксплуатации; Kt – коэффициент в зависимости от температуры окружающей среды и материала изолятора.							

П2.1 Печатный узел «АБСД.11111111.001 – Плата усилителя»

Перечень элементов, входящих в состав, и их интенсивность отказов:

Таблица П2.5 – Конденсаторы

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_б \cdot 10^9$, 1/ч	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
Постоянной емкости, керамические на номинальное напряжение менее 1600 В					
C1	К10-84в-2012М-50 В-МП0-24 пФ±20 %-N-А ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	0.2583	1	0.118
C12	К10-84в-2012М-50 В-Н90-0,1мкФ-N-А ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	0.2583	1	0.118
C13	К10-84в-2012М-16 В-Н20-0,1 мкФ±20 %-N-А ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	6.7665	1	0.118

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 РР1	Лист 9

Копировал Формат А4

Kr – коэффициент режима в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды; Ke – коэффициент эксплуатации.

Таблица П2.8 – Резисторы

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_б \cdot 10^9$, 1/ч	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
Постоянные непроволочные, металлодиэлектрические (кроме прецизионных)					
R1	Р1-12-1,0-130 Ом±1 %-М-А ШКАБ.434110.002 ТУ	63	0.6161	1	0.0945
R4	Р1-12-0,125-49,9 Ом±1 %-М-А ШКАБ.434110.002 ТУ	63	0.6161	1	0.0945
Kr – коэффициент режима в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды; Ke – коэффициент эксплуатации.					

Таблица П2.29 – Полупроводниковые приборы

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_б \cdot 10^9$, 1/ч	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
СВЧ-диапазона, транзисторы СВЧ, большой мощности					
VT2	2Т9215А1 АЕЯР.432150.857 ТУ	1.8	0.2063	1	0.3714
СВЧ-диапазона, транзисторы СВЧ, сборки транзисторные СВЧ					
VT3	2П7240ГС9 АЕЯР.432140.605 ТУ	3.52000005245209	0.1819	1	0.3137
Кроме СВЧ-диапазона, ограничители напряжения					
D6	2Р303В92 АЕЯР.432120.772 ТУ	4.3	0.2452	1	1.0542
Кроме СВЧ-диапазона, диоды кремниевые, диоды импульсные					
D10	КДШ2165А9 АДКБ.432120.515 ТУ	15.0000005960464	0.09149	1	1.4109
Kr – коэффициент режима; Ke – коэффициент эксплуатации.					

Библиография

[1] Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.

[2] Шалумов М.А., Шалумов А.С. Виртуальная среда проектирования РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. — Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. 87 с.

[3] Шалумов А.С., Шалумов М.А. Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации: монография. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. 422 с.

УДК 621.865:8:007.52:006.354 ОКС 31.020 29.100.01

Ключевые слова: надежность, моделирование, виртуальные испытания, электрические характеристики, температура, электронная компонентная база, электронная аппаратура

Редактор *З.А. Лиманская*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 01.08.2022. Подписано в печать 23.08.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,64.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru