
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

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 (www.rst.gov.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.

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, медицинской, 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.

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 КРП 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.

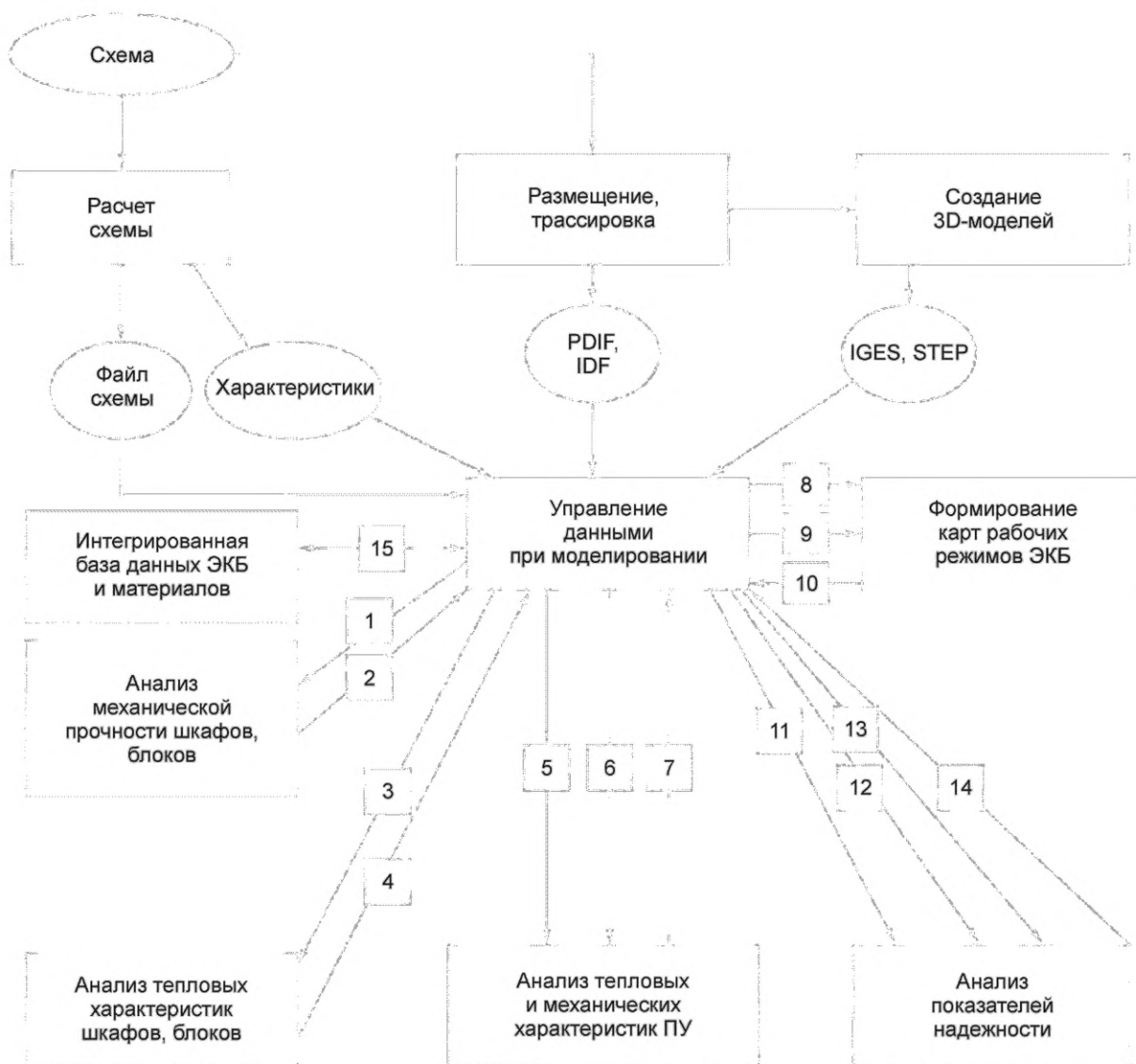


Рисунок 1 — Структура комплексной модели надежности, основанной на виртуальных испытаниях ЭА на внешние тепловые и механические воздействия

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 КРП ЭКБ. Полученные в результате КРП 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 КРП 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 КРП 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 КРП ЭКБ.

4.14 Осуществляют интеграцию модуля ввода электрической схемы и следующих подсистем: анализа конструкций ПУ ЭА на тепловые и механические воздействия, автоматизированного создания КРП 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 КРП 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 ремонтпригодности:

- 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 КРП 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).

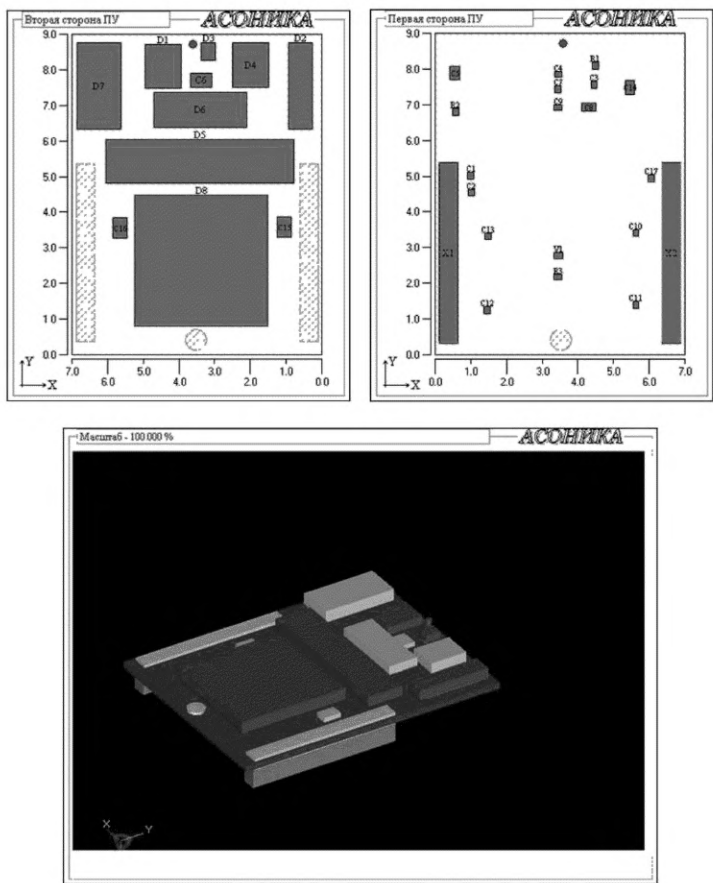


Рисунок А.1 — Конструкция ПУ, конвертированная из системы P-CAD

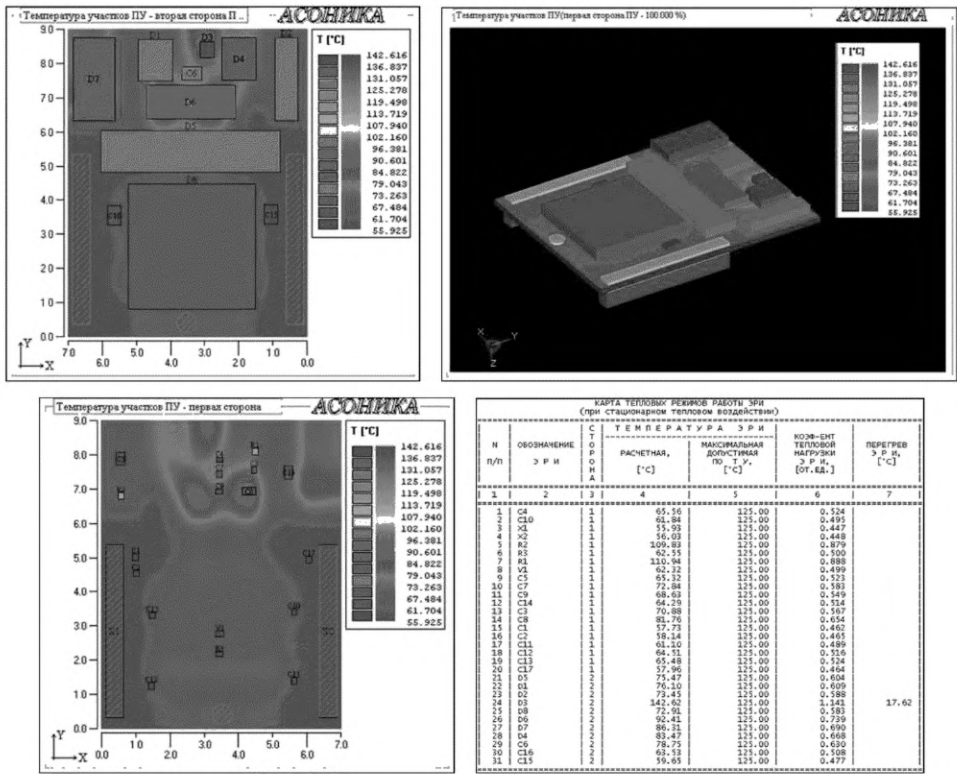


Рисунок А.2 — Результаты моделирования тепловых режимов

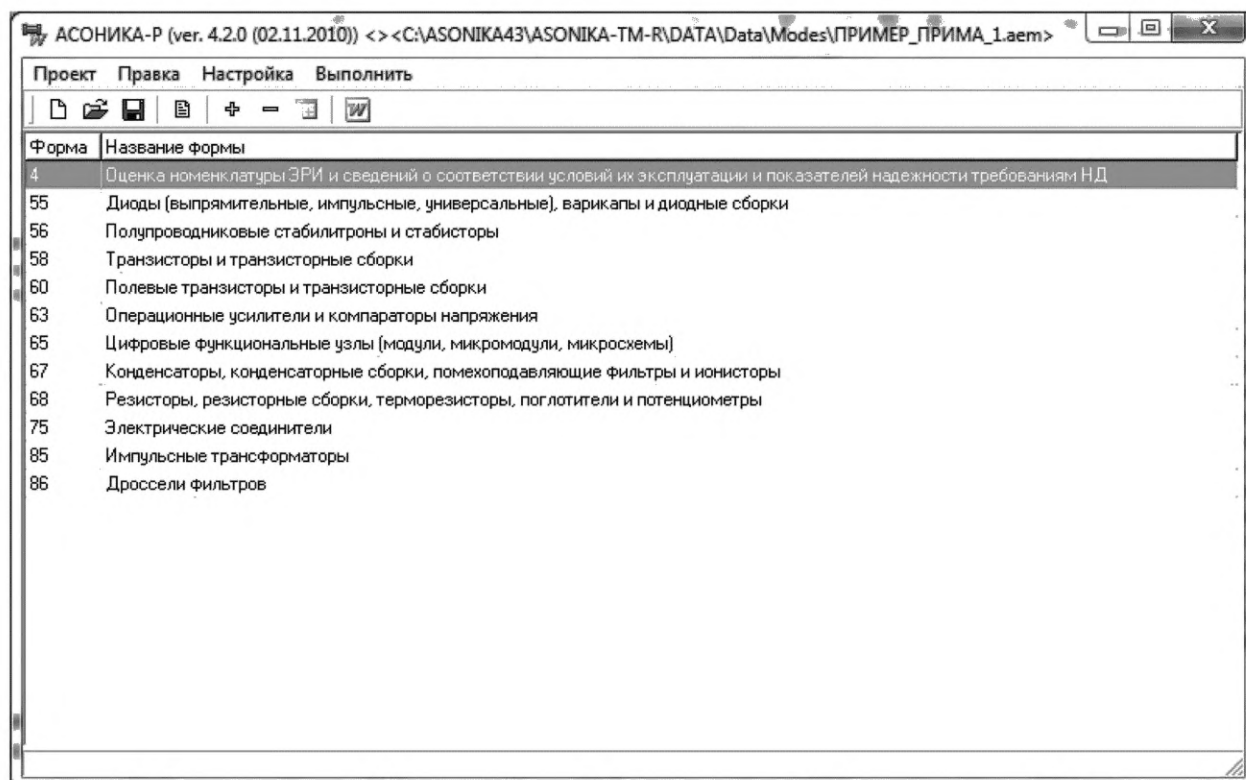


Рисунок А.3 — Диалоговое окно для формирования КРР

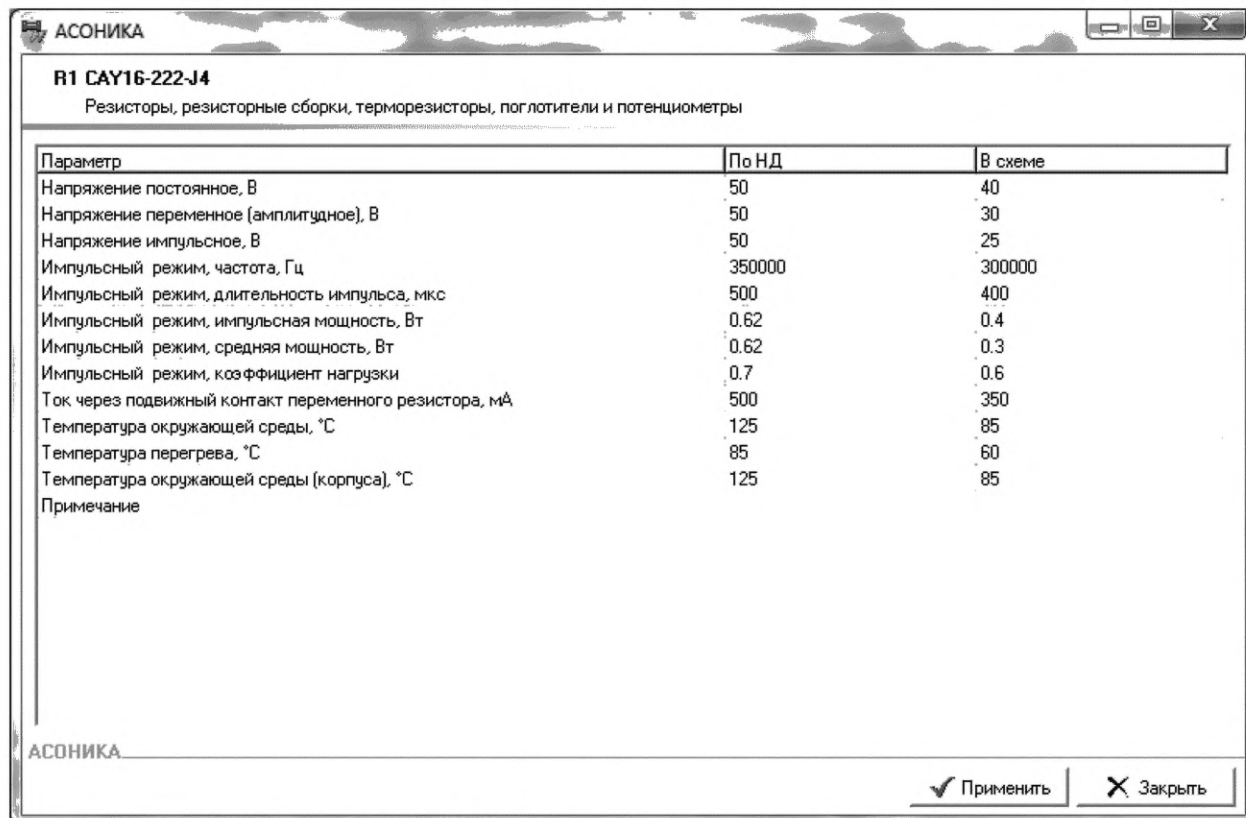
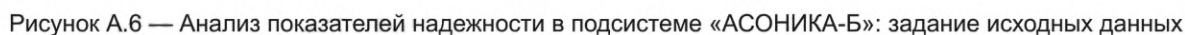


Рисунок А.4 — Диалоговое окно для задания исходных данных в подсистеме «АСОНИКА-Р»

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



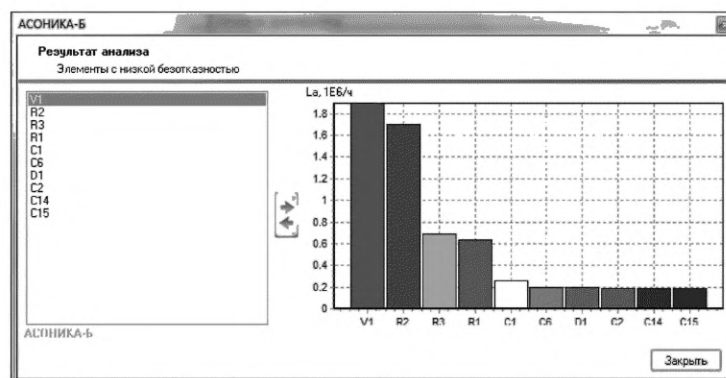


Рисунок А.7 — Анализ показателей надежности в подсистеме «АСОНИКА-Б»: ЭКБ с низкой безотказностью

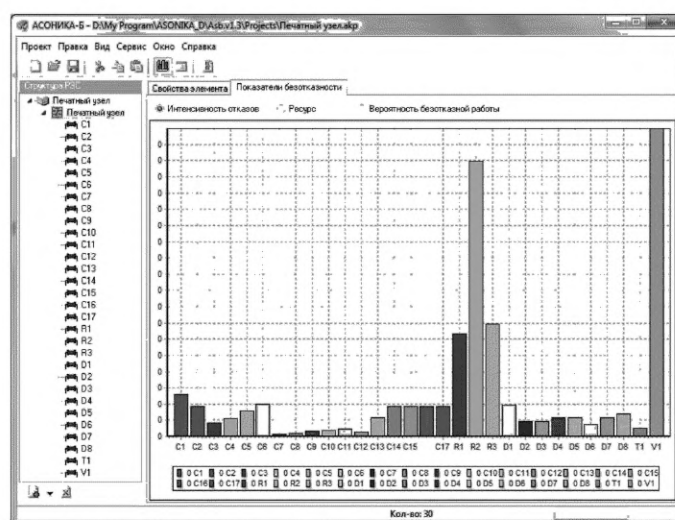


Рисунок А.8 — Анализ показателей надежности в подсистеме «АСОНИКА-Б»: вклады ЭКБ в общую безотказность ЗА

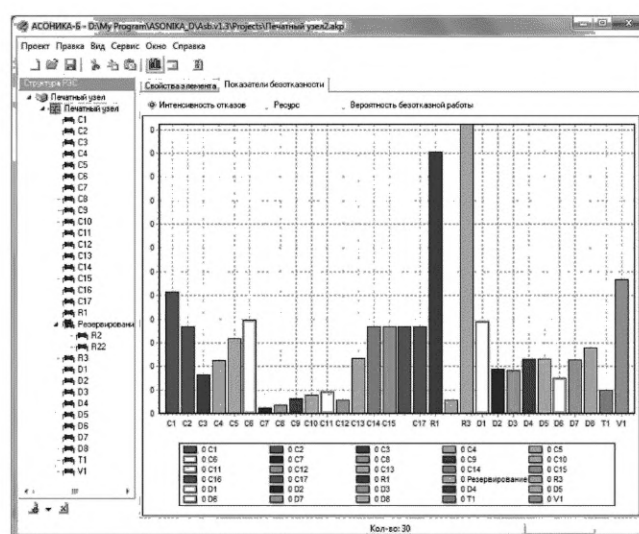


Рисунок А.9 — Вклады ЭКБ в общую безотказность ПУ после оптимизации конструкции

Приложение Б
(справочное)

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

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

Утверждаю

Генеральный директор

ООО «НИИ «АСОНИКА»

_____ Шалумов А.С.

18 июня 2021 г.

БЛОК ЭЛЕКТРОНИКИ АД675

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ

АБВГ.123456.789 РР1

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

					АБВГ.123456.789 РР1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		3

Копировал
Формат А4

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 ремонтпригодности:

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

4. Показатели сохраняемости:

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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № подл.					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 PP1					4

Копировал

Формат А4

3. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ Показатели безотказности: • Интенсивность отказов ($\lambda \cdot 10^9, 1/ч$): 18916. • Средняя наработка до отказа ($T_p, ч$): 52865. Показатели долговечности: • Полный ресурс (лет): = 199. • Полный срок службы (лет): = 50. Показатели ремонтпригодности: • 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 ремонтпригодности приведены в приложении 1. Перечень элементов, входящих в состав изделия, и их интенсивности отказов при расчете показателей сохраняемости приведены в приложении 2.									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 PP1	Лист			
						5			

КопировалФормат A4

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 ремонтпригодности:				
- 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.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
АБВГ.123456.789 PP1				
				Лист
				6

Копировал

Формат А4

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

Позици- онное обозна- чение	Наименование и тип элемента	$\lambda_6 \cdot 10^9$, 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.

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

Пози- ционное обозначе- ние	Наименование и тип элемента	$\lambda_6 \cdot 10^9$, 1/ч	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/ч
Постоянной емкости, керамические на номинальное напряжение менее 1600 В					
C1	K10-84В-2012М-50 В-МП0-24 пФ±20 %-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	0.2583	1	3.1316
C12	K10-84В-2012М-50 В-Н90-0,1 мкФ-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	0.2583	1	8.5141
C12	K10-84В-2012М-16 В-Н20-0,1 мкФ±20 %-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	6.7665	1	223.0447

					АБВГ.123456.789 PP1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

Формат А4

Кг – коэффициент режима в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды;
Ке – коэффициент эксплуатации.

Таблица П1.8 – Резисторы

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_b \cdot 10^9$, 1/4	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/4
Постоянные непроволочные, металлодиэлектрические (кроме прецизионных)					
R1	P1-12-1,0-130 Ом±1 % -M-A ШКАБ.434110.002 ТУ	63	0.6161	1	58.2252
R4	P1-12-0,125-49,9 Ом±1 % -M-A 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	$\lambda_{\text{б}} \cdot 10^9, 1/\text{ч}$	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9, 1/\text{ч}$
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	15.00000005960464	0.09149	1	1.4109

Kr – коэффициент режима;
 Ke – коэффициент эксплуатации.

Взаим. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	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	15.00000005960464	0.09149	1	1.4109
			Кг – коэффициент режима; Ке – коэффициент эксплуатации.					
			Инв. № подл.	Подп. и дата	Лист	АБВГ.123456.789 РР1		
8								
Изм.	Лист	№ докум.				Подп.	Дата	

Копировал

Формат А4

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

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

Таблица П2.1 – Соединители

Позицион-ное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_6 \cdot 10^9, 1/ч$	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-SMAp-SMAp-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

Пози-ционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_6 \cdot 10^9, 1/ч$	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9, 1/ч$
Постоянной емкости, керамические на номинальное напряжение менее 1600 В					
C1	K10-84в-2012М-50 В-МП0-24 пФ±20 %-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	0.2583	1	0.118
C12	K10-84в-2012М-50 В-Н90-0,1мкФ-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	0.2583	1	0.118
C13	K10-84в-2012М-16 В-Н20-0,1 мкФ±20 %-N-A ФЦТА.673516.016 ТУ	20.7	6.7665	1	0.118

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

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

Копировал

Формат А4

Кг – коэффициент режима в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды;
Ке – коэффициент эксплуатации.

Таблица П2.8 – Резисторы

Позиционное обозначение	Наименование и тип элемента	$\lambda_b \cdot 10^9$, 1/4	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9$, 1/4
Постоянные непроволочные, металлодиэлектрические (кроме прецизионных)					
R1	P1-12-1,0-130 Ом±1 %М-А ШКАБ.434110.002 ТУ	63	0.6161	1	0.0945
R4	P1-12-0,125-49,9 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	$\lambda_{\text{б}} \cdot 10^9, 1/\text{ч}$	Kr	Ke	$\lambda \cdot 10^9, 1/\text{ч}$
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	15.00000005960464	0.09149	1	1.4109

Kr – коэффициент режима;
 Ke – коэффициент эксплуатации.

Инв. № инв.	Взаим. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	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	15.00000005960464	0.09149	1	1.4109
				Кг – коэффициент режима; Ке – коэффициент эксплуатации.					

Инв. № инв.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 РР1	Лист

Копировал

Формат А4

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.

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 60×84%. 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.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru