ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 60.0.7.2— 2020

РОБОТЫ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Технология математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2021

Предисловие

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

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 141 «Робототехника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2020 г. № 1401-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.gost.ru)

© Стандартинформ, оформление, 2021

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 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 1
4 Общие положения 2
5 Применение информационных технологий поддержки жизненного цикла для проектирования БЭ РТК 2
6 Применение информационных технологий поддержки на всех этапах жизненного цикла БЭ РТК . . . 3
7 Технология математического моделирования и виртуализации испытаний БЭ РТК с применением информационных технологий поддержки жизненного цикла 5
8 Электронная модель БЭ РТК 7
9 Методика создания карт рабочих режимов электрорадиоизделий на основе моделирования БЭ РТК на ВВФ 9
10 Идентификация параметров 10
Приложение А (справочное) Информация о системе АСОНИКА 11
Приложение Б (справочное) Пример результатов комплексного моделирования физических процессов с применением системы АСОНИКА 12
Библиография 28

Введение

Целью стандартов комплекса «Роботы и робототехнические устройства» является повышение интероперабельности роботов и их компонентов, а также снижение затрат на их разработку, производство и обслуживание за счет стандартизации и унификации процессов, интерфейсов и параметров.

Стандарты комплекса «Роботы и робототехнические устройства» представляют собой совокупность отдельно издаваемых стандартов. Стандарты данного комплекса относятся к одной из следующих тематических групп: «Общие положения, основные понятия, термины и определения», «Технические и эксплуатационные характеристики», «Безопасность», «Виды и методы испытаний», «Механические интерфейсы», «Электрические интерфейсы», «Коммуникационные интерфейсы», «Методы моделирования и программирования», «Методы построения траектории движения (навигация)», «Конструктивные элементы». Стандарты любой тематической группы могут относиться как ко всем роботам и робототехническим устройствам, так и к отдельным группам объектов стандартизации — промышленным роботам в целом, промышленным манипуляционным роботам, промышленным транспортным роботам, сервисным роботам в целом, сервисным манипуляционным роботам и сервисным мобильным роботам.

Настоящий стандарт относится к тематической группе «Методы моделирования и программирования» и определяет технологию математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов (БЭ РТК) на внешние воздействующие факторы (ВВФ) на всех этапах жизненного цикла. К ВВФ относятся электрические, тепловые, механические, электромагнитные, радиационные воздействия.

Применение моделирования БЭ РТК на ранних этапах проектирования до изготовления опытного образца позволит избежать отказов РТК, значительно сократить количество отказов на этапе испытаний опытного образца, уменьшив тем самым:

- количество испытаний;
- количество итераций по доработке схем и конструкций;
- затраты на разработку РТК

при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы, делая РТК конкурентоспособными на отечественном и международном рынке [1] — [3].

Использование только натурных испытаний РТК на ВВФ без применения моделирования малоинформативно и неэффективно, так как на этапе проектирования не отслеживается большинство возможных отказов РТК; при испытаниях не проверяются критические режимы (либо технически невозможно, либо дорого из-за возможных отказов испытуемых изделий); из-за недоработок проектирования РТК, вскрытых путем испытаний, возможно множество итераций: доработка проекта — испытания опытного образца — доработка проекта и т. д., что значительно увеличивает сроки и стоимость разработки; при натурных испытаниях практически невозможно воспроизвести комплексные (одновременно действующие) воздействия; невозможно установить датчики во всех точках конструкции РТК и контролировать их поведение, выбор контрольных точек при испытаниях субъективен и опирается в основном на опыт и интуицию.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОБОТЫ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Технология математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла

Robots and robotic devices. Technology of mathematical modeling and virtualization of tests of basic elements of robotic complexes for external influencing factors at all stages of a life cycle

Дата введения — 2021—03—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает основные принципы технологии математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов (электронных блоков и узлов) на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла.

1.2 Настоящий стандарт не распространяется на рассмотрение всех проблем проектирования и обеспечения надежности РТК.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2.052 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения

ГОСТ 21964 Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристики

ГОСТ Р 57188 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения

ГОСТ Р 57193 Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем

ГОСТ Р 58300 Управление данными об изделии. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 9000 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь

ГОСТ Р ИСО 19439 Интеграция предприятия. Основа моделирования предприятия

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р ИСО 19439, ГОСТ Р ИСО 9000, ГОСТ Р 57193, ГОСТ 2.052, ГОСТ Р 58300, а также следующий термин с соответствующим определением:

3.1.1 **базовый элемент робототехнических комплексов:** Электронный блок или узел.

Издание официальное

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

БД — база данных;

БЭ — базовые элементы;

ВВФ — внешние воздействующие факторы;

ЖЦ — жизненный цикл;

ИИС — интегрированная информационная среда;

ИТП — информационные технологии поддержки;

КРР — карты рабочих режимов;

МТП — модель теплового процесса;

НТД — нормативно-техническая документация;

ПУ — печатный узел;

РТК — робототехнические комплексы;

ЭМ — электронная модель;

ЭРИ — электрорадиоизделие;

PDM — система управления данными об изделии — организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии (Product Data Management).

4 Общие положения

4.1 Целью настоящего стандарта является оказание методической помощи предприятиям промышленности и организациям в применении ИТП ЖЦ изделий на всех этапах ЖЦ.

4.2 Организация работ по применению технологии математического моделирования и виртуализации испытаний БЭ РТК.

4.2.1 Технология математического моделирования и виртуализации испытаний БЭ РТК к воздействию ВВФ предназначена для использования подразделениями предприятий, на которые возложены соответствующие задачи.

4.2.2 Оценку стойкости БЭ РТК к воздействию ВВФ допускается проводить на основе технологии математического моделирования и виртуализации испытаний с использованием вычислительной техники (ГОСТ Р 57188, ГОСТ 21964).

Примечание — Примером системы, реализующей указанные технологии, является система АСОНИКА (приложение А).

5 Применение информационных технологий поддержки жизненного цикла для проектирования БЭ РТК

При проектировании БЭ РТК необходимо применять ИТП ЖЦ в качестве инструмента организации и информационной поддержки всех участников создания, производства и пользования продуктом. Это повысит эффективность их деятельности за счет ускорения процессов исследования и разработки продукции, придания изделию новых свойств, сокращения издержек в процессах производства и эксплуатации продукции, повышения уровня сервиса в процессах ее эксплуатации и технического обслуживания.

Информационное взаимодействие субъектов, участвующих в поддержке ЖЦ, следует осуществлять в ИИС, которая должна аккумулировать всю информацию об изделии; быть единственным источником данных о нем (обмен данными между участниками ЖЦ должен идти через ИИС); формировать на основе международных и национальных стандартов, а также стандартов предприятий. ИИС создается на основе программно-аппаратных средств, обеспечивающих ввод, хранение, обработку и обмен информацией в общедоступном электронном формате на основе открытого стандарта.

ИИС может быть создана для структур различного уровня: от отдельного подразделения до предприятия или корпорации, включающей несколько предприятий.

В основе концепции ИИС лежит использование открытых архитектур, международных стандартов и апробированных коммерческих продуктов обмена данными.

Информационная интеграция базируется на использовании:

- информационной модели ЖЦ продукта и выполняемых в его ходе бизнес-процессов;
- информационной модели продукта;
- информационной модели производственной и эксплуатационной среды.

ИТП ЖЦ следует рассматривать как комплексную системную стратегию повышения эффективности всех процессов ЖЦ промышленной продукции, непосредственно влияющую на ее конкурентоспособность.

Применение стратегии ИТП ЖЦ позволяет:

- расширить области деятельности предприятий (рынки сбыта) за счет кооперации с другими предприятиями, обеспечиваемой стандартизацией представления информации на разных стадиях и этапах ЖЦ;
- за счет информационной интеграции и сокращения затрат на бумажный документооборот, повторного ввода и обработки информации обеспечить преемственность результатов работы в комплексных проектах и возможность изменения состава участников без потери уже достигнутых результатов;
- повысить «прозрачность» и управляемость бизнес-процессов путем их реинжиниринга, на основе интегрированных моделей ЖЦ и выполняемых бизнес-процессов, сократить затраты в бизнес-процессах за счет лучшей сбалансированности звеньев;
- повысить привлекательность и конкурентоспособность изделий, спроектированных и произведенных в интегрированной среде с использованием современных компьютерных технологий и имеющих средства информационной поддержки на этапе эксплуатации;
- обеспечить заданное качество продукции в интегрированной системе поддержки ЖЦ путем электронного документирования всех процессов и процедур;
- сократить издержки производства и снизить стоимость продукции;
- сократить время создания изделия, его модернизации и увеличить его реальное время жизни на стадии «обладания», функционирования в работоспособном состоянии за счет высокого качества и электронной поддержки во время эксплуатации.

6 Применение информационных технологий поддержки на всех этапах жизненного цикла БЭ РТК

6.1 Моделирование на этапе маркетинга и изучения рынка

При проведении маркетинговых исследований следует определить:

- в разработке каких именно БЭ РТК (с какими характеристиками, при каких параметрах внешних дестабилизирующих воздействий) сегодня нуждается промышленность;
- какие на сегодняшний день в мире существуют аналоги разрабатываемых БЭ РТК.

На этом этапе следует провести моделирование БЭ РТК при всех внешних дестабилизирующих воздействиях. Изучив потребности рынка в БЭ РТК, необходимо сопоставить требуемые характеристики БЭ РТК и характеристики аналогов. Для этого следует взять за основу техническую документацию на аналогичный компонент, построить его КРР и на ее основе создать электронную модель БЭ РТК аналога. Далее, используя эту модель, провести испытания на воздействие дестабилизирующих факторов. Полученные характеристики следует сравнить с максимально допустимыми по техническим условиям на БЭ РТК. Если рассчитанные выходные характеристики находятся в пределах допустимых, то допускается переходить к проектированию БЭ РТК. Если нет, то следует подбирать другие аналоги, либо существенно менять схему и конструкцию, либо создавать принципиально новые схему и конструкцию БЭ РТК. Но в любом случае наиболее оптимальное решение может быть принято только на основе результатов моделирования БЭ РТК на все ВВФ.

6.2 Моделирование на этапах проектирования, разработки и производства БЭ РТК

Индивидуальное, а тем более кооперативное проектирование и производство БЭ РТК может быть эффективным в случае, если оно базируется на основе единой информационной модели БЭ РТК или электронной модели БЭ РТК (ЭМ БЭ РТК). Разрабатываемая на данной стадии ЖЦ конструкторско-технологическая информационная модель также базируется на использовании стандартов на системы автоматизации производства и их интеграцию. Созданная однажды модель БЭ РТК используется многократно при всех ВВФ. В нее вносят дополнения и изменения, она служит отправной точкой при модернизации БЭ РТК. Модель БЭ РТК при всех ВВФ в соответствии с этим стандартом включает: концептуальное решение, структуру и состав БЭ РТК (конфигурацию), геометрические данные (3D-модели БЭ РТК и его составляющих), технологии сборки, проектные расчеты, данные об изменениях, согласованиях и утверждениях и др.

Стандартный способ представления проектных и конструкторско-технологических данных позволяет решить проблему обмена информацией между различными подразделениями предприятия, а также с участниками кооперации. Использование международных стандартов обеспечивает корректную интерпретацию хранимой информации, возможность оперативной передачи функций одного подрядчика другому, который, в свою очередь, может воспользоваться результатами уже проделанной работы. Это особенно важно для БЭ РТК с длительным ЖЦ, когда необходимо обеспечить преемственность информационной поддержки БЭ РТК, независимо от складывающейся рыночной или политической ситуации.

6.3 Моделирование ЖЦ БЭ РТК и выполняемых бизнес-процессов на этапе планирования и разработки процессов

Данный этап — это первый и очень существенный шаг к повышению эффективности организационной структуры, поддерживающей одну или несколько стадий ЖЦ БЭ РТК, — моделирование и анализ ее функционирования. Цель бизнес-анализа — выявить существующее взаимодействие между составными частями и оценить его рациональность и эффективность. Для этого с использованием ИТП ЖЦ разрабатывают функциональные модели БЭ РТК, содержащие детальное описание выполняемых процессов в их взаимосвязи. Формат описания регламентирован стандартами IDEF и стандартами на системы автоматизации производства и их интеграцию. Полученная функциональная модель не только является детальным описанием выполняемых процессов, но также позволяет решать целый ряд задач, связанных с оптимизацией, оценкой и распределением затрат, оценкой функциональной производительности, загрузки и сбалансированности составных частей, то есть вопросов анализа и реинжиниринга бизнес-процессов.

Методы функционального моделирования с успехом могут быть использованы при создании систем обеспечения качества БЭ РТК при всех внешних дестабилизирующих воздействиях. В этом случае функциональная модель описывает функции системы обеспечения качества БЭ РТК, регламентированные стандартами системы менеджмента качества, т. е. сеть процессов обеспечения качества БЭ РТК и их интерфейсы, связанные с ними обязанности, полномочия, процедуры и ресурсы, распределение обязанностей и полномочий подразделений и персонала предприятия. Разработанная функциональная модель позволяет выявить логические ошибки, допущенные при построении системы обеспечения качества, уточнить распределение полномочий и ответственности, автоматически генерировать отчетные документы по структуре системы. Для моделирования системы качества также используются информационные модели, регламентированные стандартами на системы автоматизации производства и их интеграцию и методологией IDEF1X.

6.4 Моделирование БЭ РТК на этапе закупки

Исходя из конструкторской документации, определяется состав материалов, комплектующих и элементной базы, которые необходимо закупить для производства БЭ РТК. Необходимо решить оптимизационную задачу на основе критериев стоимости и качества. А это требует привлечения аппарата моделирования БЭ РТК на все ВВФ.

6.5 Моделирование БЭ РТК на этапе упаковки и хранения

В процессе транспортирования БЭ РТК может подвергаться воздействию ряда внешних дестабилизирующих факторов — климатических, механических и др. Поэтому необходимо, чтобы упаковка осуществлялась в соответствии с параметрами внешних дестабилизирующих воздействий. Например, если речь идет о воздействии вибрации, то при упаковке используют пеноматериалы. Чтобы выбрать материал и способ упаковки, следует осуществить моделирование БЭ РТК при всех ВВФ в условиях транспортирования. Для этого снова используют ЭМ БЭ РТК, созданную на этапе проектирования. Кроме того, в процессе хранения БЭ РТК на складе на нее действуют повышенная (пониженная) температура, повышенная (пониженная) влажность, что также следует учесть на основе ЭМ БЭ РТК.

6.6 Моделирование БЭ РТК на этапе реализации

Реализация БЭ РТК подразумевает поставку заказчику. Если условия эксплуатации заказчика жесткие и предполагают воздействие внешних дестабилизирующих факторов, то необходимо предварительно проверить, будет ли БЭ РТК выполнять стабильно свои функции в этих условиях. Поставка БЭ РТК в соответствии с принципами ИТП ЖЦ предполагает одновременную поставку ЭМ БЭ РТК

заказчику. В таком случае заказчик может провести виртуальные испытания БЭ РТК при всех ВВФ и принять решение: либо приобрести БЭ РТК без доработок, либо применить дополнительные средства защиты, либо предложить внести некоторые изменения в схему и конструкцию, либо отказаться от приобретения.

6.7 Моделирование БЭ РТК на этапе установки и ввода в эксплуатацию

На данном этапе необходимо удостовериться, что характеристики, заявленные разработчиком БЭ РТК, соответствуют реальным значениям, то есть необходимо проверить степень расхождения между результатами виртуальных испытаний по ЭМ БЭ РТК при всех ВВФ и результатами испытаний в реальных условиях эксплуатации. Если расхождения между результатами виртуальных испытаний по ЭМ БЭ РТК при всех ВВФ и результатами испытаний в реальных условиях эксплуатации существенные, то необходимо привлекать разработчика с тем, чтобы принять решение о дальнейших действиях: либо о доработке ЭМ БЭ РТК и самих БЭ РТК, либо о расторжении контракта на приобретение БЭ РТК.

6.8 Моделирование БЭ РТК на этапе технической поддержки и обслуживания

В процессе обслуживания БЭ РТК могут возникнуть проблемы, связанные с нарушением функционирования БЭ РТК и даже с отказом. Необходимо определить причину нарушения функционирования БЭ РТК и возможного отказа, причем с помощью ЭМ БЭ РТК определить конкретные узлы, из-за которых возникли проблемы. При этом необходимо определить, с чем связаны возникшие проблемы: либо с нарушением условий эксплуатации, либо с ошибками в схеме и конструкции.

6.9 Моделирование на этапе эксплуатации БЭ РТК

Объемы разрабатываемой документации для сложных наукоемких БЭ РТК очень велики. Поэтому традиционное бумажное документирование сложных БЭ РТК требует огромных затрат на поддержку архивов, корректировку документации, а также снижает эксплуатационную привлекательность и конкурентоспособность БЭ РТК.

Решение проблемы заключается в переводе эксплуатационной документации на БЭ РТК в электронный вид. При этом комплект электронной эксплуатационной документации — интерактивные электронные технические руководства, электронные справочники, инструкции, руководства и др. — следует рассматривать как составную часть ЭМ БЭ РТК. Электронную документацию допускается поставлять на электронных носителях (например, на компакт-дисках) или размещать в глобальной сети Интернет. Стандартизация гарантирует применимость такой электронной документации на любых компьютерных платформах.

Эксплуатационная документация может содержать информацию различных типов в соответствии со стандартами для графической, текстовой и мультимедийной информации.

В электронный вид может быть преобразована эксплуатационная документация, созданная ранее без использования компьютерных систем. Для БЭ РТК, уже находящихся в эксплуатации длительный период и спроектированных традиционными методами, задача создания электронной поддержки ЖЦ не менее актуальна.

6.10 Моделирование БЭ РТК на этапе утилизации

Утилизация также может потребовать моделирования с помощью ЭМ БЭ РТК. Необходимо определить, насколько выработан ресурс БЭ РТК в процессе эксплуатации. От этого зависит, как поступить с БЭ РТК после вывода из эксплуатации: продолжать использование БЭ РТК в более мягких условиях или прекратить использовать и демонтировать. Если моделирование по ЭМ БЭ РТК показывает, что остаточный ресурс позволяет еще эксплуатировать БЭ РТК в более мягких условиях, то срок службы БЭ РТК может быть продлен в мягких условиях эксплуатации. Если ресурс выработан окончательно, то необходимо демонтировать БЭ РТК.

7 Технология математического моделирования и виртуализации испытаний БЭ РТК с применением информационных технологий поддержки жизненного цикла

Технология математического моделирования и виртуализации испытаний БЭ РТК с применением ИТП ЖЦ представлена на рисунке 1.

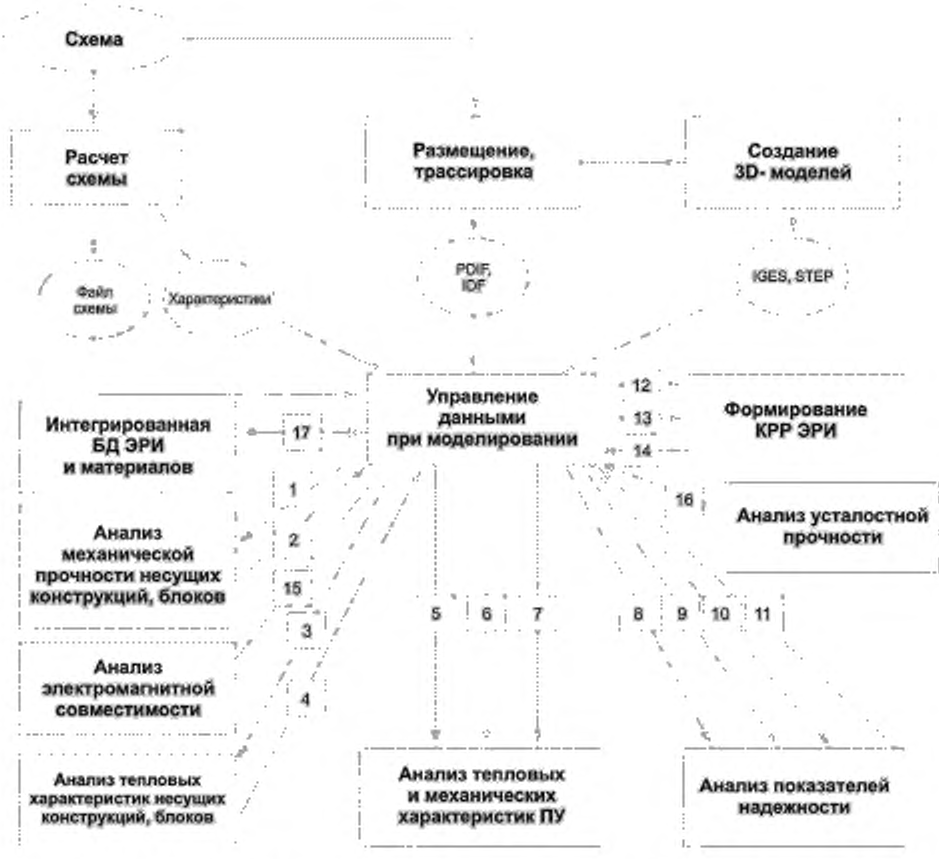


Рисунок 1 — Технология математического моделирования и виртуализации испытаний РТК с применением ИТП ЖЦ

В процессе проектирования на базе подсистемы управления данными при моделировании (PDM-системы) с использованием подсистем моделирования происходит формирование ЭМ БЭ РТК. 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 системы размещения и трассировки печатных плат. Выходные файлы системы размещения и трассировки печатных плат в формате PDIF и IDF либо сохраняются в подсистеме управления моделированием, либо направляются в системы 3D-моделирования для создания чертежей и сохраняются в подсистеме управления моделированием.

В подсистему управления моделированием также передаются 3D-модели БЭ РТК, созданные в системах 3D-моделирования в форматах IGES, SAT и STEP, которые далее направляются в подсистемы моделирования для анализа механических процессов в БЭ РТК (позиция 1), а также в подсистему моделирования для анализа тепловых процессов в БЭ РТК (позиция 3).

Полученные в результате моделирования напряжения, перемещения, ускорения и температуры в конструкциях блоков сохраняются в подсистеме управления моделированием (позиции 2, 4). Чертежи ПУ и спецификации к ним, а также файлы в форматах PDIF и IDF передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ (позиция 5). В подсистему для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ также передаются температуры воздуха в узлах, полученные в подсистеме моделирования тепловых процессов в БЭ РТК, а также ускорения опор, полученные в подсистемах анализа механической прочности БЭ РТК (позиция 6). Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭРИ сохраняются в подсистеме управления моделированием (позиция 7).

Перечень ЭРИ (позиция 8), файлы с электрическими характеристиками ЭРИ (позиция 9), температурами и ускорениями ЭРИ (позиция 10), результаты электромагнитного (позиция 15) и усталостного (позиция 16) анализа, полученные в подсистеме анализа электромагнитной совместимости и подсистеме анализа усталостной прочности, передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему анализа показателей надежности БЭ РТК. Полученные в результате показатели надежности БЭ РТК сохраняются в подсистеме управления моделированием (позиция 11). Перечень ЭРИ, файлы с электрическими характеристиками ЭРИ (позиция 12), температурами и ускорениями ЭРИ (позиция 13) передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему формирования КРР ЭРИ. Полученные в результате КРР сохраняются в подсистеме управления моделированием (позиция 14).

Интеграция программных продуктов позволяет выполнить сквозное автоматизированное проектирование БЭ РТК на основе комплексного моделирования физических процессов.

8 Электронная модель БЭ РТК

Для реализации методологии комплексного математического моделирования БЭ РТК необходимо создание ЭМ БЭ РТК, в которой учитывались бы основные, влияющие на технические показатели БЭ РТК, связи между протекающими физическими процессами (ГОСТ 2.052). ЭМ БЭ РТК формируются из подмоделей, обладающих соответствующими свойствами.

Подмодель электрических процессов:

- отражает электрические процессы, протекающие в схемах БЭ РТК и позволяет с достаточной для инженерных расчетов точностью анализировать функциональные и режимные электрические характеристики;
- включает в свой состав эквивалентные схемы ЭРИ (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности диодов, транзисторов, микросхем и пр.), а также базу макромоделей, позволяющих моделировать БЭ РТК на уровне функциональных и режимных характеристик;
- учитывает локальные температуры ЭРИ, паразитные проводимости, емкости, индуктивности, взаимные индуктивности и другие параметры, что позволяет отразить влияние конструкции на протекающие в схеме электрические процессы.

Подмодель тепловых процессов:

- отражает тепловые процессы в проектируемой конструкции, возникающие под влиянием воздействия окружающей среды, тепловыделений в ЭРИ и систем охлаждения;
- учитывает все способы передачи тепла в современных БЭ РТК;
- учитывает особенности конструктивного построения современных БЭ РТК и способы их охлаждения, что позволяет моделировать тепловые процессы с необходимой для инженерных расчетов точностью для широкого класса БЭ РТК.

Подмодель аэродинамических процессов:

- отражает аэродинамические процессы, протекающие в проектируемой конструкции под воздействием систем воздушного охлаждения или сил самотяги, а также температурных полей конструкции;
- учитывает аэродинамические особенности конструктивных решений в БЭ РТК, что позволяет моделировать совместно с тепловыми характеристиками аэродинамические процессы для широкого класса современных БЭ РТК.

Подмодель механических процессов:

- отражает механические процессы в проектируемой конструкции, возникающие под воздействием всего спектра механических воздействий (синусоидальная и случайная вибрации, одиночные и многократные удары, линейное ускорение, акустический шум);
- учитывает различные системы виброизоляции, применяемые в БЭ РТК;
- 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 БЭ РТК;
- учитывает особенности конструктивного построения современных БЭ РТК, способы их амортизации, что дает возможность с достаточной для инженерных расчетов точностью моделировать весь спектр механических характеристик широкого класса конструкций БЭ РТК.

Взаимодействие с ЭМ БЭ РТК происходит при помощи методик, предусмотренных в ИТП ЖЦ, через PDM-систему.

ЭМ БЭ РТК дает возможность обращаться с ней, как с материальным оригиналом, а именно: оценивать соответствия параметров и выходных характеристик изделия требованиям ТЗ, стандартам

и другой нормативной документации, а также принимать обоснованные решения для внесения изменений в проектирование БЭ РТК с целью улучшения при оптимизации показателей ее качества и надежности.

Таким образом, ЭМ БЭ РТК позволяет улучшать показатели процесса проектирования и изготовления, такие как стоимость, сроки и содержание работ на тех или иных этапах. Одним из эффективных с этой точки зрения решений является замена натурных испытаний физического макета или опытного образца математическим моделированием.

ЭМ БЭ РТК формируется при проектировании, и в нее могут быть внесены изменения на этапах изготовления и эксплуатации в силу реальных условий производства на заводе и эксплуатации на конкретном объекте установки. Подобные разрешения дают проектировщики БЭ РТК после дополнительного исследования ЭМ БЭ РТК. Поэтому ЭМ БЭ РТК хранят в головной проектной организации, а на стадии изготовления и эксплуатации передают в электронном виде только часть ЭМ БЭ РТК, относящуюся к технологической или эксплуатационной документации.

Еще на этапе концептуального проектирования использование ЭМ БЭ РТК позволяет провести анализ альтернативных подходов и выбрать наиболее верное решение. При конструировании виртуальные испытания помогают оценить внешние формы частей, их стыковку и согласованность друг с другом в рамках единого БЭ РТК. Применение ЭМ БЭ РТК повышает наглядность и упрощает процесс управления проектированием БЭ РТК в распределенной среде корпоративной сети.

Автоматизированная система, предназначенная для формирования ЭМ БЭ РТК при комплексном моделировании БЭ РТК, должна состоять из ряда подсистем, позволяющих комплексно моделировать все основные физические процессы для различных уровней иерархии современных наукоемких БЭ РТК. Комплексное моделирование электрического, теплового, механического и других физических процессов в БЭ РТК (до уровня ЭРИ) с использованием одного программного средства невозможно. Поэтому для его проведения потребуется несколько моделирующих программ, между которыми необходимо поддерживать связь на уровне входных-выходных данных.

Данная автоматизированная система должна содержать средства моделирования электрических, тепловых, механических и других физических процессов, средства оценки надежности и качества БЭ РТК и обеспечивать дополнение конструкторской документации результатами расчетов и моделями, по которым эти расчеты проведены.

Таким образом, на БД автоматизированной системы формируется ЭМ создаваемого БЭ РТК, в которую помещается вся информация, накопленная на всех стадиях ЖЦ. ЭМ БЭ РТК позволяет инженеру моделировать любые процессы в БЭ РТК и вносить любые изменения в его конструкцию и схему так, как если бы это был реальный объект.

ЭМ БЭ РТК включает в себя:

- электронную документацию для производства и эксплуатации;
- алгоритмы проектирования;
- комплексные модели физических процессов в схемах и конструкциях БЭ РТК;
- результаты комплексного моделирования физических процессов в БЭ РТК;
- диагностические модели;
- инструменты конвертации;
- комплект информационно-логических методик проектирования РТК в стандарте IDEF.

Для разработки высоконадежных БЭ РТК важное значение имеет систематизация, накопление, хранение и отображение информации. Для этого предназначены системы управления данными об изделии (PDM-системы). Накопленная информация используется на всем ЖЦ изделия и включает в себя:

- информацию о конфигурации и структуре БЭ РТК;
- комплексные модели электрических, тепловых, механических и других физических процессов и результаты их анализа;
- характеристики и свойства БЭ РТК;
- организационную информацию (описание процессов, связанных с изменением данных о БЭ РТК, необходимые ресурсы — люди, материалы, т. д.);
- информацию о проведенных контрольных испытаниях;
- документы, которыми обрастает БЭ РТК с момента его проектирования до его продажи и дальнейшего обслуживания, и т. д.

Интеграция программных продуктов позволяет осуществить сквозное автоматизированное проектирование БЭ РТК на основе комплексного моделирования физических процессов.

Информационная согласованность всей системы обеспечивается на уровне ЭМ БЭ РТК, информация в которой представлена в виде совокупности информационных объектов и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартов на системы автоматизации производства и их интеграцию, при отсутствии дублирования информации. В этом случае существует необходимость только в интерфейсах между каждой отдельно взятой подсистемой и подсистемой управления моделированием. Данные интерфейсы позволяют преобразовать совокупность информационных объектов ЭМ БЭ РТК, описывающих исходные данные для целевой подсистемы, в файлы проекта данной подсистемы и, наоборот, преобразовать файлы проекта исходной подсистемы в совокупность информационных объектов ЭМ БЭ РТК и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартов на системы автоматизации производства и их интеграцию, гарантируя однозначность представления информации в ЭМ БЭ РТК.

9 Методика создания карт рабочих режимов электрорадиоизделий на основе моделирования БЭ РТК на ВВФ

После проверки правильности применения ЭРИ в БЭ РТК получают данные о результатах оценки номенклатуры, условий эксплуатации, электрических и температурных режимов работы ЭРИ. Эти данные в виде численных значений параметров, характеризующих фактические и требуемые по НТД на ЭРИ условия их эксплуатации и режимы работы, оформляют в виде КРР [2].

Комплект КРР на сборочную единицу высшей ступени, в которую входят сборочные единицы низших ступеней, включает в себя:

- титульный лист;
- содержание;
- перечень комплектов карт сборочных единиц низшей ступени;
- карту оценки номенклатуры примененных ЭРИ и сведений о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требованиям НТД;
- карту ЭРИ, примененных при механических воздействиях, не соответствующих требованиям НТД на них;
- КРР ЭРИ, входящих непосредственно в состав комплекта КРР, например соединители, тумблеры и т. п.

В комплект КРР на сборочную единицу низшей ступени, не имеющей в своем составе другой сборочной единицы (например, ячейка, типовой элемент замены и т. п.), входят:

- титульный лист;
- содержание;
- карта оценки номенклатуры примененных ЭРИ и сведения о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требований НТД;
- карты ЭРИ, примененные при механических воздействиях, не соответствующих требованиям НТД на них;
- КРР ЭРИ, входящих в состав сборочной единицы.

По согласованию с представителем заказчика допускается формы 4 и 5 не включать в комплект карт сборочных единиц низших ступеней. В этом случае при заполнении указанных форм для сборочной единицы высшей ступени в них необходимо включить все ЭРИ, входящие в сборочные единицы низших ступеней.

Комплект КРР в окончательном виде представляется разработчиком БЭ РТК на стадии разработки рабочей документации (по результатам испытаний опытного образца). Возможно составление КРР на более ранних стадиях разработки БЭ РТК путем проведения расчетов по схемам или по результатам инструментальных измерений на макетах с последующей их корректировкой (по результатам измерений в опытном образце).

Для облегчения и ускорения процесса заполнения КРР ЭРИ необходимо использовать программное обеспечение, в дальнейшем называемое «подсистема». В подсистему должны быть заложены все формы КРР.

Перечень ЭРИ, для которых необходимо получить КРР, может быть введен как вручную пользователем, так и путем конвертирования из выходных файлов системы проектирования печатных плат.

Кроме того, конвертация перечней ЭРИ из любой системы должна осуществляться в рамках ИИС предприятия (PDM-системы) через промежуточный текстовый файл. Возможен экспорт параметров ЭРИ в автоматизированную подсистему анализа показателей безотказности БЭ РТК.

Подсистема может использоваться как на одном рабочем месте, так и в сетевом варианте, когда БД установлена на сервере, а на рабочих местах установлена управляющая программа. При этом редактировать БД может только администратор базы.

Справочная часть БД разрабатываемой подсистемы предназначена для хранения информации об ЭРИ и материалах конструкций, необходимой для проведения моделирования физических процессов при комплексных внешних воздействиях. Поэтому справочная часть БД должна содержать:

1) параметры материалов конструкций;

2) параметры моделей ЭРИ для тепловых и механических процессов;

3) предельно допустимые значения ускорений и температур ЭРИ, а также максимальные допустимые напряжения материалов, на основе которых может быть принято проектное решение;

4) параметры выводов ЭРИ для разных вариантов установки ЭРИ на печатную плату для расчета усталостных характеристик;

5) информацию об условном графическом изображении ЭРИ на плоскости и в пространстве, для придания реалистичности отображения ПУ;

6) полные условные записи ЭРИ для быстрого поиска ЭРИ.

10 Идентификация параметров

При подготовке исходных данных для математического моделирования физических процессов в БЭ РТК могут возникнуть проблемы, связанные с отсутствием значений некоторых параметров. Неизвестные физико-механические параметры математических моделей БЭ РТК необходимо получать методом идентификации параметров [2]. Это позволит получить неизвестные значения с высокой степенью точности, основываясь на экспериментальных данных, полученных при проведении натурных испытаний, что позволит проводить наиболее точное моделирование физических процессов при воздействии различных дестабилизирующих факторов.

Приложение А
(справочное)

Информация о системе АСОНИКА

Автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА) (www.asonika-online.ru) начала создаваться в 1979 году. Это первая российская автоматизированная система моделирования, которая рекомендуется специальными руководящими документами Министерства обороны Российской Федерации для замены испытаний БЭ РТК на ранних этапах проектирования, что позволяет создавать конкурентоспособные БЭ РТК в минимальные сроки и с минимальными затратами.

В настоящее время система АСОНИКА состоит из 14 подсистем:

- анализа и обеспечения тепловых характеристик БЭ РТК АСОНИКА-Т;
- анализа типовых конструкций блоков БЭ РТК на механические воздействия АСОНИКА-М;
- анализа типовых конструкций шкафов и стоек БЭ РТК на механические воздействия АСОНИКА-М-ШКАФ;
- анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций БЭ РТК, созданных в CAD-системах 3D-моделирования и других системах в форматах IGES, SAT и STEP, к механическим воздействиям АСОНИКА-М-3D;
- идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей БЭ РТК АСОНИКА-ИД;
- анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций БЭ РТК, установленных на виброизоляторах, АСОНИКА-В;
- анализа конструкций ПУ БЭ РТК на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ;
- автоматизированного заполнения КРР ЭРИ АСОНИКА-Р;
- анализа показателей надежности БЭ РТК с учетом реальных режимов работы ЭРИ АСОНИКА-Б;
- расчета полной номенклатуры показателей надежности (безотказности, сохраняемости, долговечности и ремонтопригодности) восстанавливаемых и невосстанавливаемых БЭ РТК, в том числе сложных, структурные схемы надежности которых содержат различные виды соединения составных частей (резервирование, ветвление и др.) и показателей достаточности комплектов ЗИП АСОНИКА-К;
- анализа усталостной прочности конструкций печатных плат и ЭРИ при механических воздействиях АСОНИКА-УСТ;
- анализа и обеспечения электромагнитной совместимости БЭ РТК АСОНИКА-ЭМС;
- справочная БД ЭРИ и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, усталостным и надежностным параметрам АСОНИКА-БД;
- управления моделированием БЭ РТК при проектировании АСОНИКА-УМ.

Приложение Б
(справочное)

Пример результатов комплексного моделирования физических процессов с применением системы АСОНИКА

На рисунках Б.1—Б.13 и в таблицах Б.1—Б.4 представлены некоторые результаты моделирования БЭ РТК, полученные с помощью системы АСОНИКА.

В АСОНИКА-УМ (управление моделированием) в категории «Изделия концерна» создана стойка БЭ РТК (рисунок Б.1). К изделию прикреплена техническая документация, 3D-модель и виртуальный макет с результатами моделирования физических процессов. В стойку БЭ РТК входит блок БЭ РТК, содержащий модули. К модулям прикреплены техническая документация и виртуальный макет с результатами моделирования физических процессов.

На рисунках Б.2—Б.3 представлены МТП блока БЭ РТК при вынужденной конвекции — математическая и топологическая, полученные в подсистеме АСОНИКА-Т. В таблице Б.1 представлены результаты моделирования тепловых процессов блока БЭ РТК при вынужденной конвекции, полученные в подсистеме АСОНИКА-Т.

На рисунке Б.4 показаны поля перемещений в конструкции блока БЭ РТК на резонансной частоте 180 Гц. Аналогично допускается вывести поля ускорений и напряжений. На рисунке Б.5 представлены графики ускорений в контрольных точках блока БЭ РТК. Рисунки Б.4 и Б.5 отображают результаты моделирования механических процессов, полученные в АСОНИКА-М.

На рисунке Б.6 представлена зависимость ускорения блока БЭ РТК от времени при воздействии механического удара многократного действия по оси *X*. Допускается вывести аналогичные зависимости при воздействии гармонической вибрации и одиночного удара по каждой из осей. Рисунок Б.6 отображает результаты моделирования системы виброизоляции, полученные в АСОНИКА-В.

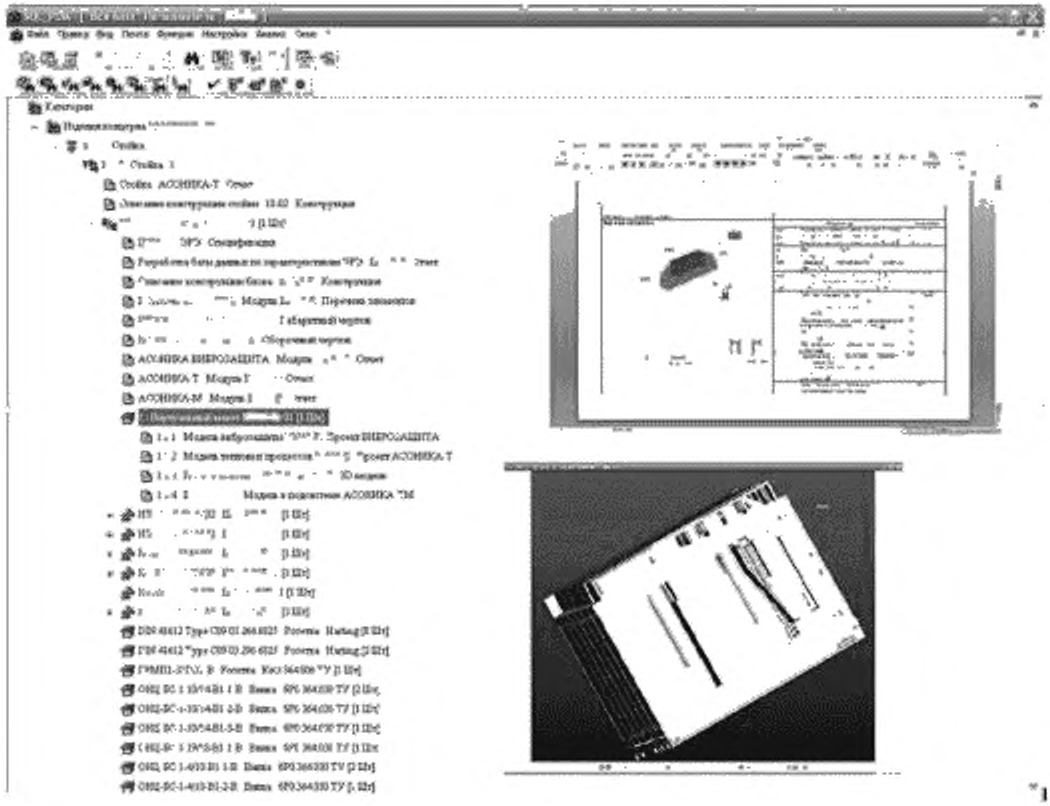


Рисунок Б.1 — Состав основного дерева БЭ РТК в АСОНИКА-УМ (фрагмент)

В таблице Б.2 показан пример параметров ЭРИ в БД АСОНИКА-БД.

На рисунке Б.7 представлена модель электрических процессов модуля питания. На рисунке Б.8 представлен один из графиков электрических параметров одного из элементов с учетом переходного процесса. Это пример результатов расчета электрических процессов в модуле питания.

```
ШС10-Е СОЗВЕЗДИЕ ВЫНУЖДЕННАЯ КОНВЕКЦИЯ
ТИПК=01
ТИПР=01
ФПЧ=00
ТЕСТ=10
 19 - КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ МОДЕЛИ
"1112223331111111122222222333333334444444455555555666666667777777788888888
   4  0101      6.0
   5  0101      6.0
   8  0101      6.0
   9  0101      6.0
  10  0101      6.0
  11  0101      6.0
   6  0101      9.4
   7  0101      9.4
  12  0101      1.4
  13  0101      1.4
  14  0101      1.5
  15  0101      1.5
  16  0101     12.1
  19  0101      7.0
  17  0101     73.0
  18  0101      1.0
   1  0111     50.0
   1  2 16    320.0  1930.0     0.8      1.
   1  2 26    320.0  1930.0   320.0      1.0    760.0
   4  5 16    200.0   220.0     0.8      1.0
   5  6 16    200.0   220.0     0.8      1.0
   6  7 16    200.0   220.0     0.8      1.0
   7  8 16    200.0   220.0     0.8      1.0
   8  9 16    200.0   220.0     0.8      1.0
   9 10 16    200.0   220.0     0.8      1.0
  10 11 16    200.0   220.0     0.8      1.0
  11 12 16    200.0   220.0     0.8      1.0
  12 13 16    200.0   220.0     0.8      1.0
  13 14 16    200.0   220.0     0.8      1.0
```

Рисунок Б.2 — МТП блока БЭ РТК при вынужденной конвекции

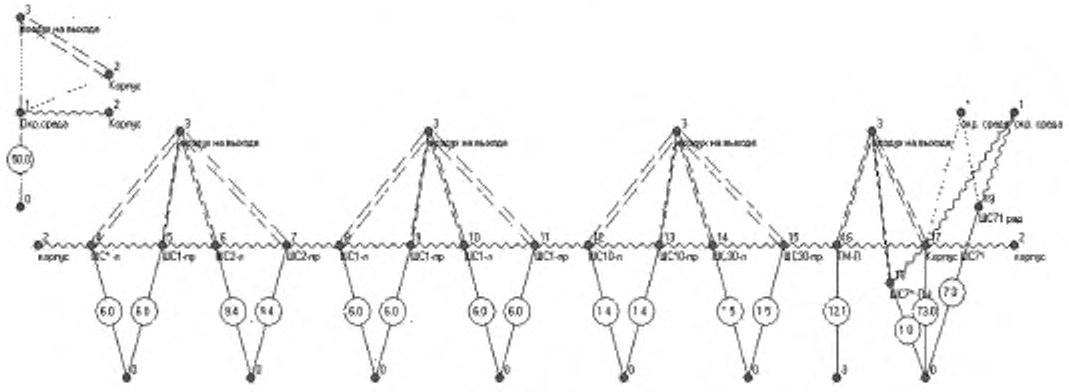


Рисунок Б.3 — Топологическая МТП блока БЭ РТК при вынужденной конвекции

Таблица Б.1 — Результаты расчета блока БЭ РТК при скорости 0,53 м/с (два вентилятора PAPST-8414NH)

№ узла	Наименование узла	Температура, °С
1	Окружающая среда	50
2	Корпус	54,4
3	Воздух на выходе	53,5
4	ШС1-левый	62,6
5	ШС1-правый	65,7
6	ШС2-л	69,7
7	ШС2-пр	69,8
8	ШС1-л	66,4
9	ШС1-пр	65,3
10	ШС1-л	64,7
11	ШС1-пр	63,3
12	ШС10-л	58,2
13	ШС10-пр	57,2
14	ШС30-л	58,3
15	ШС30-пр	63
16	ТМ-П	79,2
17	Корпус ШС71	96,7
18	ШС71-ПУ	75,4
19	ШС71 рад	126,6

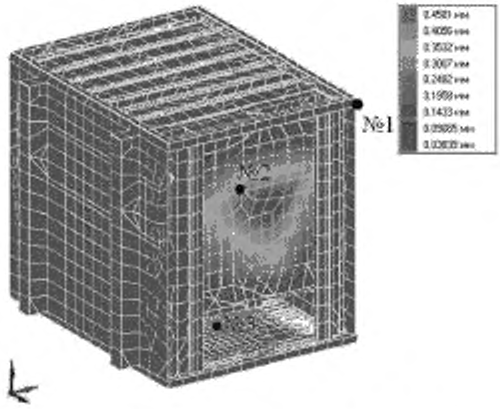


Рисунок Б.4 — Поле перемещений блока БЭ РТК
(частота 180 Гц)

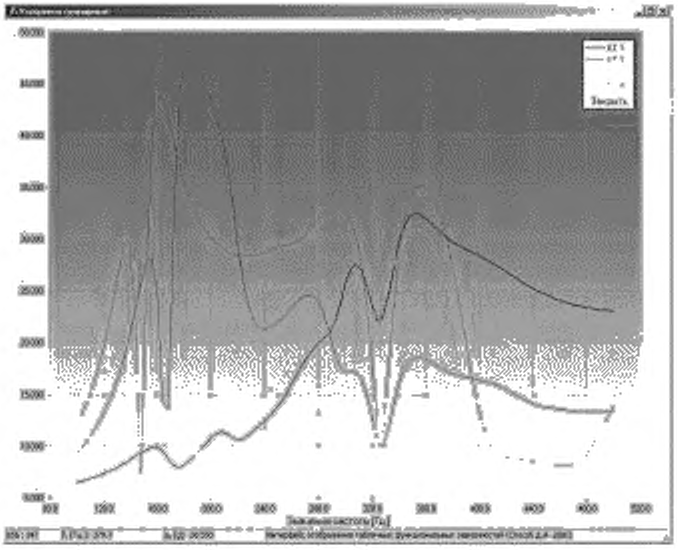


Рисунок Б.5 — Графики ускорений в контрольных точках блока БЭ РТК

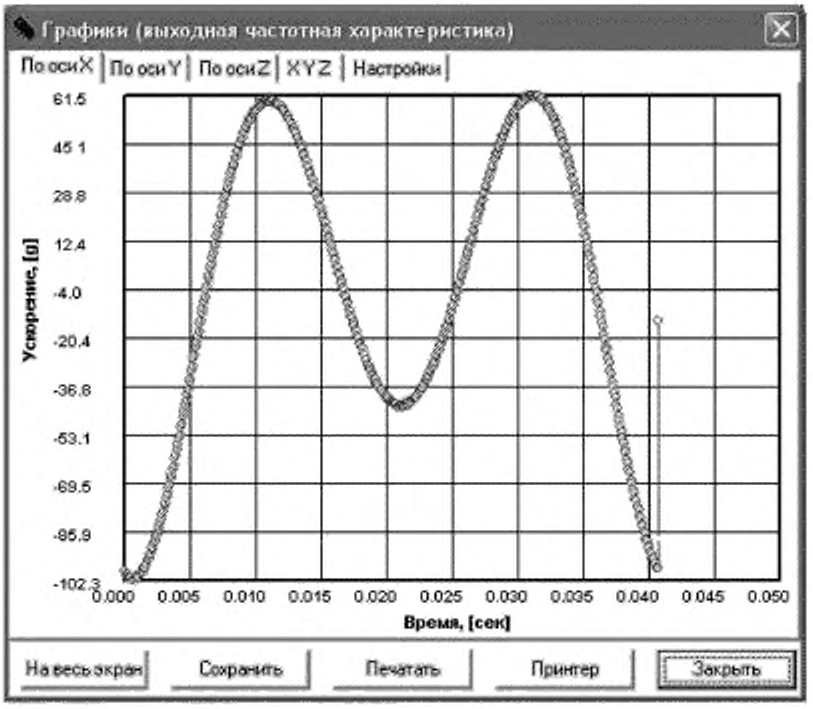


Рисунок Б.6 — Зависимость ускорения блока БЭ РТК от времени при воздействии механического удара многократного действия по оси *X*

Полная условная запись: 1002ИР1 бК0.347.331-02ТУ.

Таблица Б.2 — Пример параметров ЭРИ

Рисунок	Параметр	Значение
Вид в пространстве:	Размер посадочного места по оси *X psx*, мм	17,08
	Масса элемента, г	2,5
	Размер корпуса по оси *X lx*, мм	12,2
	Размер корпуса по оси *Y wy*, мм	15,6
	Размер корпуса по оси *Z hz*, мм	3,2
	Удельная теплоемкость корпуса, Дж/(кг · К)	138
	Количество выводов	24
	Размер сечения выводов по оси *X pwx*, мм	0,2
	Размер сечения выводов по оси *Y pwy*, мм	0,62
	Радиус гибки выводов *pR*, мм	0,155
	Длина 1-го участка выводов *pL*1, мм	1,067
	Шаг выводов *pstep*, мм	1,25
	Плотность материала выводов, кг/м^3	10 500
	Коэффициент теплопроводности материала выводов, Вт/(К · м)	427
	Удельная теплоемкость материала выводов, Дж/(кг · К)	234
	Цилиндрическая жесткость	2
	Коэффициент черноты поверхности, отн.ед.	0,8
Вид сбоку:	Максимальная допустимая температура корпуса, °С	125
	Минимальная допустимая температура корпуса, °С	–60
	Минимальная допустимая частота гармонической вибрации, Гц	2
	Максимальная допустимая частота гармонической вибрации, Гц	2500
	Максимальное допустимое ускорение гармонической вибрации, g	40
	Максимальное допустимое ускорение одиночного удара, g	1000
	Максимальное допустимое ускорение многократного удара, g	150
Вид сверху:	Максимальное допустимое линейное ускорение, g	500

Примечание — Прямоугольные в отверстия, прямоугольный лежит (равномерно в два ряда)

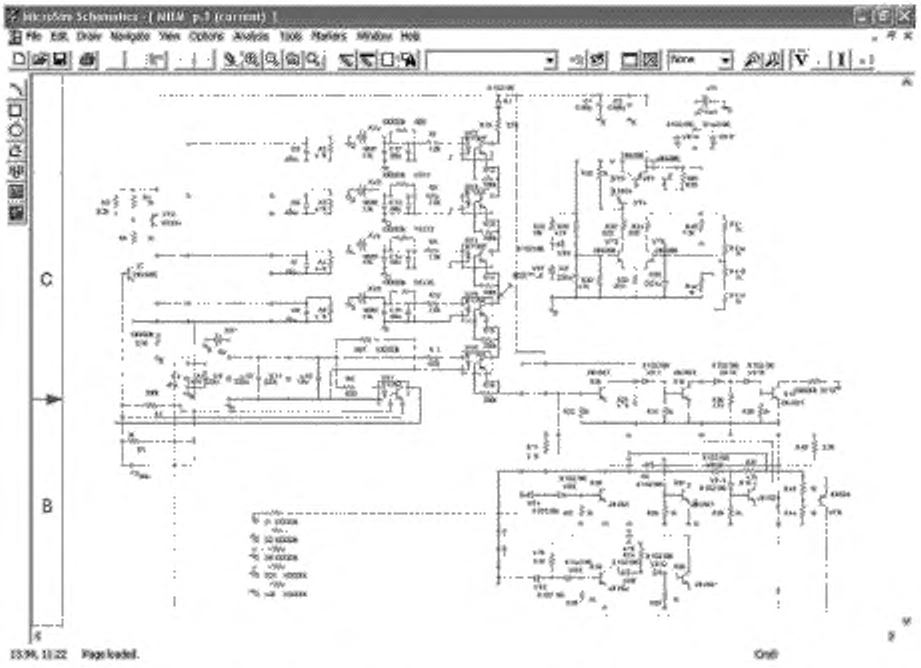


Рисунок Б.7 — Модель электрических процессов модуля питания

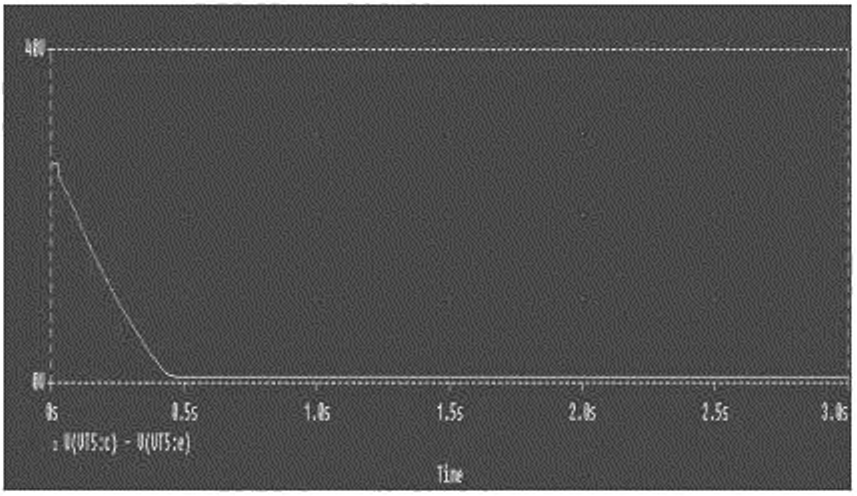


Рисунок Б.8 — График электрических параметров одного из элементов с учетом переходного процесса

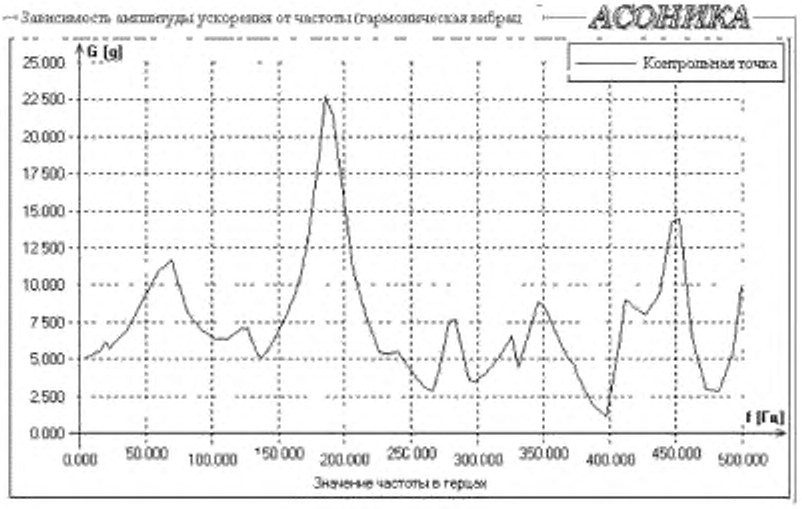


Рисунок Б.9 — Зависимость амплитуды ускорения гармонической вибрации от частоты в контрольной точке (в центре платы)

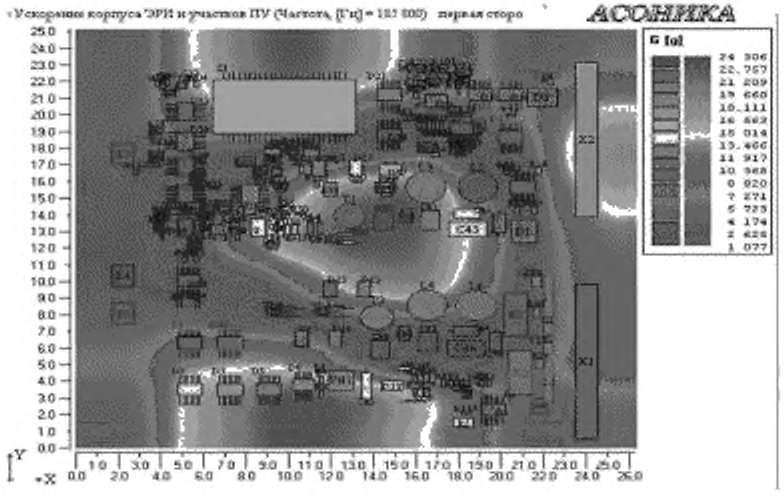


Рисунок Б.10 — Поле виброускорений при воздействии гармонической вибрации на резонансной частоте 186 Гц (на плоскости)

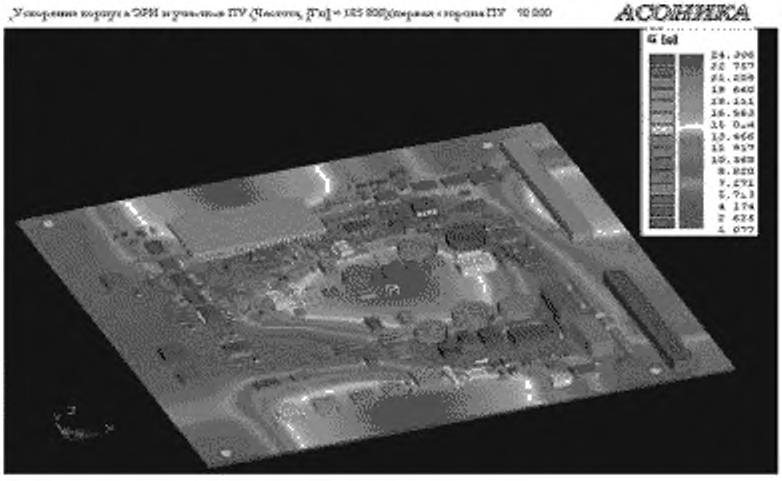


Рисунок Б.11 — Поле виброускорений при воздействии гармонической вибрации на резонансной частоте 186 Гц (в объеме)

На рисунках Б.9 — Б.11 приведены результаты моделирования ПУ на воздействие гармонической вибрации. Допускается также вывести аналогичные результаты моделирования ПУ на воздействие одиночного и многократного удара: зависимость ускорения одиночного и однократного удара от времени в контрольной точке (в центре платы), поля максимальных ускорений при воздействии одиночного и многократного удара на плоскости и в объеме, а также карты механических режимов ЭРИ при воздействии одиночного и многократного ударов. Аналогичные результаты возможно получить и на воздействие акустического шума. Карта механических режимов ЭРИ при воздействии гармонической вибрации представлена в таблице Б.3. Эти результаты моделирования ПУ на механические воздействия получены с помощью АСОНИКА-ТМ.

Таблица Б.3 — Карта механических режимов работы ЭРИ при гармонической вибрации для ПУ БЭ РТК (фрагмент)

КАРТА МЕХАНИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ							
(при гармонической вибрации)							
№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, отн. ед	Перегрузка, g
			Частота Гц	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	C1	1	499.500	8.064	40.000	0.202	
2	C10	1	499.500	12.525	40.000	0.313	
3	C11	1	452.000	17.256	40.000	0.431	
4	C16	1	345.800	24.178	40.000	0.604	
5	C17	1	499.500	8.064	40.000	0.202	
.....							
264	R89	2	412.000	14.780	40.000	0.370	

На рисунке Б.12 приведены полученные тепловые характеристики ПУ (воздух внутри блока при естественной конвекции 100,2 °С). Карта тепловых режимов ЭРИ представлена в таблице Б.4. Данные результаты теплового моделирования для ПУ получены с помощью АСОНИКА-ТМ.

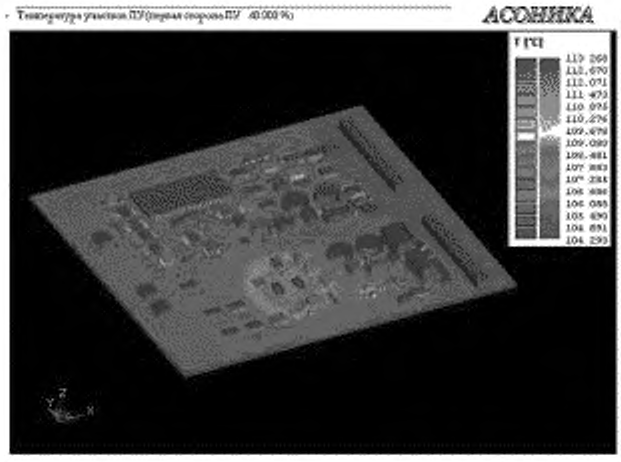


Рисунок Б.12 — Поле температур для ПУ БЭ РТК

Таблица Б.4 — Карта тепловых режимов работы ЭРИ при стационарном тепловом воздействии для ПУ БЭ РТК (фрагмент)

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед.	Перегрев, °С
			Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
1	C1	1	105.046	100.000	1.050	5.046
2	C10	1	104.714	100.000	1.047	4.714
3	C11	1	105.581	100.000	1.056	5.581
4	C16	1	104.855	100.000	1.049	4.855
5	C17	1	105.048	100.000	1.050	5.048
51	D1	1	104.712	100.000	1.047	4.712
52	D10	1	105.466	85.000	1.241	20.466
53	D11	1	106.199	100.000	1.062	6.199
54	D12	1	112.471	85.000	1.323	27.471
55	D13	1	113.016	85.000	1.330	28.016
91	L1	1	104.790	100.000	1.048	4.790
92	L2	1	104.931	100.000	1.049	4.931
93	L3	1	104.925	100.000	1.049	4.925
94	L4	1	105.378	100.000	1.054	5.378
95	L5	1	104.644	100.000	1.046	4.644
96	L6	1	104.982	100.000	1.050	4.982
97	R1	1	105.578	100.000	1.056	5.578
98	R10	1	106.503	100.000	1.065	6.503

Окончание таблицы Б.4

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед.	Перегрев, °С
			Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
99	R100	1	105.530	100.000	1.055	5.530
100	R101	1	105.484	100.000	1.055	5.484
101	R102	1	105.200	100.000	1.052	5.200

С помощью подсистемы АСОНИКА-Б был проведен расчет показателей надежности. Некоторые результаты представлены на рисунке Б.13.

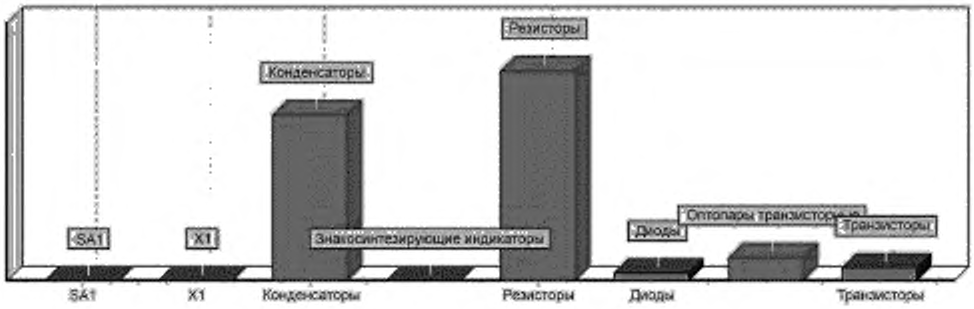


Рисунок Б.13 — Интенсивности отказов компонентов первого уровня в изделии «Устройство вторичного электропитания БЭ РТК» (предварительный расчет)

Уточненный расчет эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ проводился на основании температур ЭРИ, полученных в результате моделирования тепловых процессов с использованием АСОНИКА-ТМ.

На рисунке Б.14 приведен пример КРР (форма 58) для транзисторов, созданной с помощью АСОНИКА-Р.

Форма 58

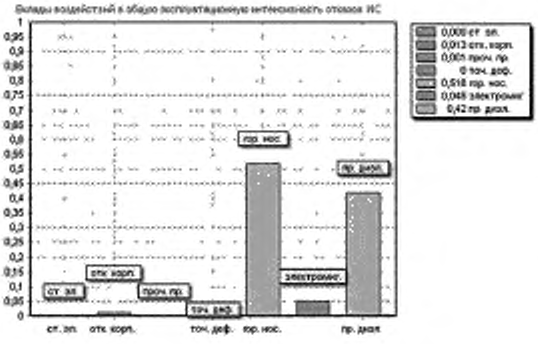
Карта рабочих режимов транзисторов и транзисторных сборок

Позиционное обозначение				VT1		VT2		VT3	
Наименование изделия				2Т313069 аА0.339.569ТУ		2Т664А9 аА0.339.559ТУ		STN83003	
Режим работы				в схеме	по НТД	в схеме	по НТД	в схеме	по НТД
Статический режим	Напряжение, В	коллектор-эмиттер	1	15	40	15	100	5	400
		коллектор-база	2	18.75	50	18	120	5.75	700
		эмиттер-база	3	1.88	5	0.75	5	0.15	12
	ток, А	коллектора	4	0.04	0.1	0.15	1	0.02	1.5
		базы	5			0.04	0.3		
Динамический режим	напряжение, В	коллектор-эмиттер	6	15	40				
		коллектор-база	7	18.75	50				
		эмиттер-база	8	1.88	5				
	ток, А	коллектора	9			0.23	1.5		
		базы	10						
Длительность импульса, мкс			11						
Частота следования, Гц			12	169825165	200000000				
Сопротивление в цепи базы, В			13						
Режим при включении и выключении	напряжение коллектор-эмиттер, В		14	15	40				
	максимальный ток коллектора, А		15	0.04	0.1				
	длительность фронта (спада), мкс		16						
Средняя мощность, Вт			17	0.07	0.2	0.04	0.3	0.02	1.6
Импульсная мощность, Вт			18			0.15	1		
Температура окружающей среды (корпуса), °С			19	15	85	15	125	15	150
Коэффициент нагрузки			20	0.35(17)	0.7	0.13(17)	0.7	0.01(17)	0.7
Примечание			21						

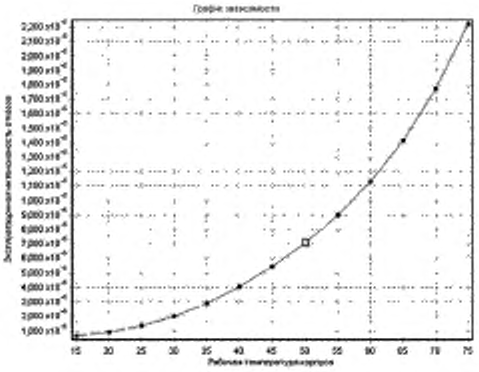
Рисунок Б.14 — Карта рабочих режимов (форма 58)

На рисунках Б.15 — Б.21 и в таблице Б.5 представлены некоторые результаты моделирования БЭ РТК, полученные с помощью подсистемы АСОНИКА-К.

В модуле подсистемы АСОНИКА-К-ИС рассчитывается интенсивность отказов микросхем сверхбольшой степени интеграции. На рисунке Б.15 представлены рассчитанные вклады отдельных деградационных процессов в общее значение интенсивности отказов исследуемой микросхемы. Для достижения наиболее оптимальных параметров эксплуатации микросхемы проводят анализ зависимостей показателей надежности относительно отдельных характеристик микросхемы. На рисунке Б.15 приведен пример такой зависимости.



а) Вклады деградационных процессов в общую надежность



б) Зависимость надежности от температуры корпуса

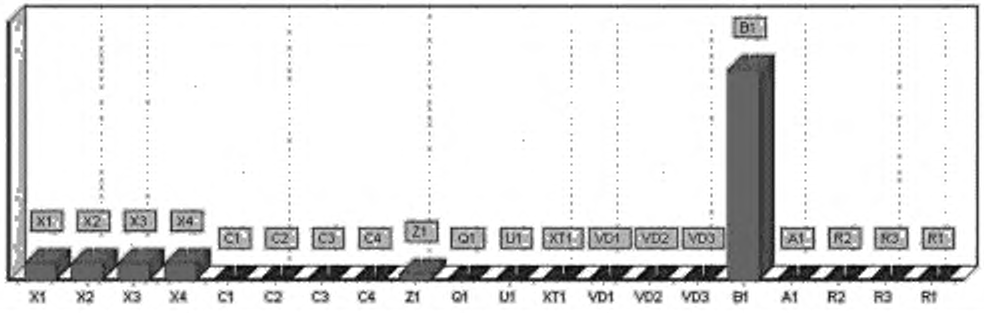
Рисунок Б.15

Для расчета показателей надежности электронного модуля 1-го уровня БЭ РТК применяется модуль подсистемы АСОНИКА-К-СЧ/Д, на рисунке Б.16 показаны вклады отдельных элементов в общую надежность электронного модуля 1-го уровня и выявлены критичные элементы.

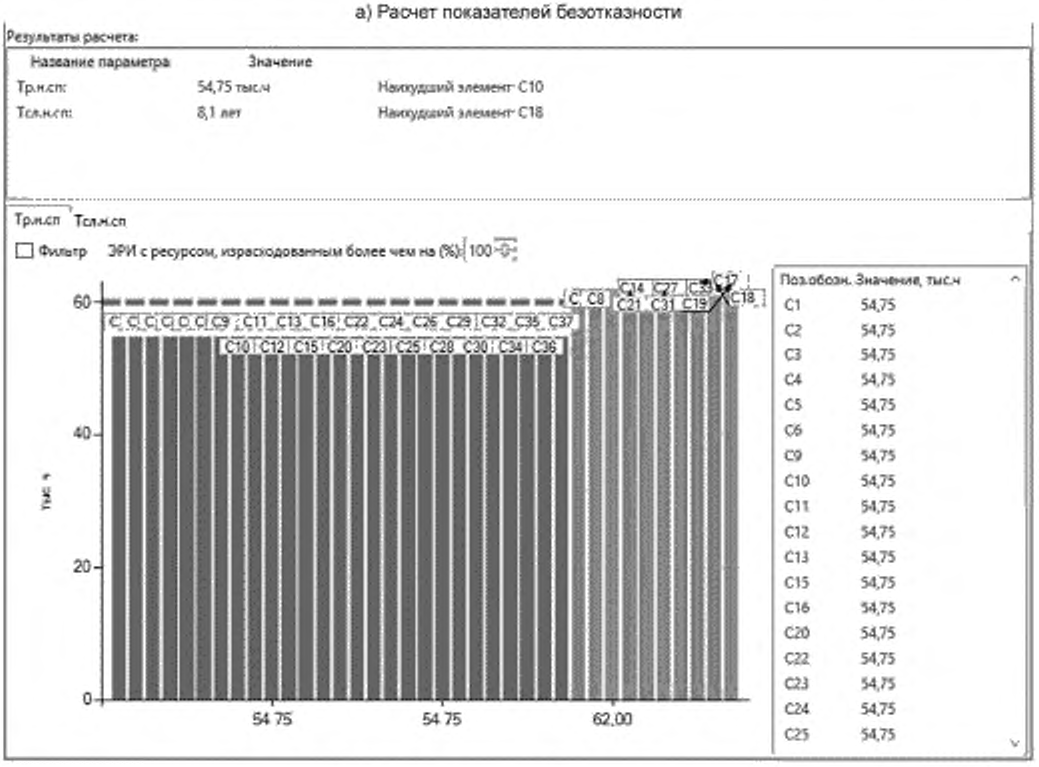
Для оценки влияния температуры окружающей среды была построена температурная зависимость эксплуатационной интенсивности отказов (рисунок Б.17)

На рисунке Б.18 показана структурная схема надежности (ССН) БЭ РТК. В системе АСОНИКА-К-СИ ССН допускается представить в виде «последовательного соединения» групп 1-го уровня. ССН БЭ РТК представляют в виде группы «последовательное соединение», в состав которой входят три группы: две группы «скользящее нагруженное резервирование» и группа «последовательное соединение». Критерии отказов резервированных групп: L1 — 6/32, а L2 — 14/128.

Показатели надежности БЭ РТК для режима эксплуатации рассчитывались на основе интенсивностей отказов и времен восстановления резервированных групп 1-го уровня. Результаты расчета приведены на рисунке Б.19. Полученное в результате значение коэффициента оперативной готовности БЭ РТК составляет 0,9999498 отн. ед. (при заданном времени выполнения задания, равном 4 ч), а среднее время восстановления составляет 0,801 ч (см. рисунок Б.19).



а) Расчет показателей безотказности



б) Расчет показателей долговечности

Рисунок Б.16 — Вклады отдельных ЭРИ в общую надежность электронного модуля БЭ РТК

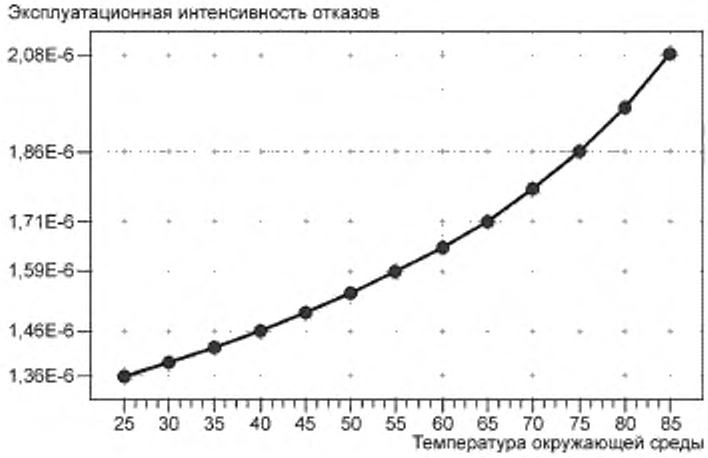
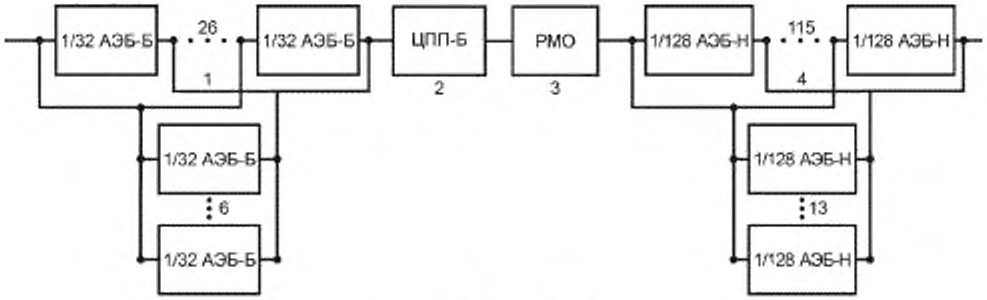
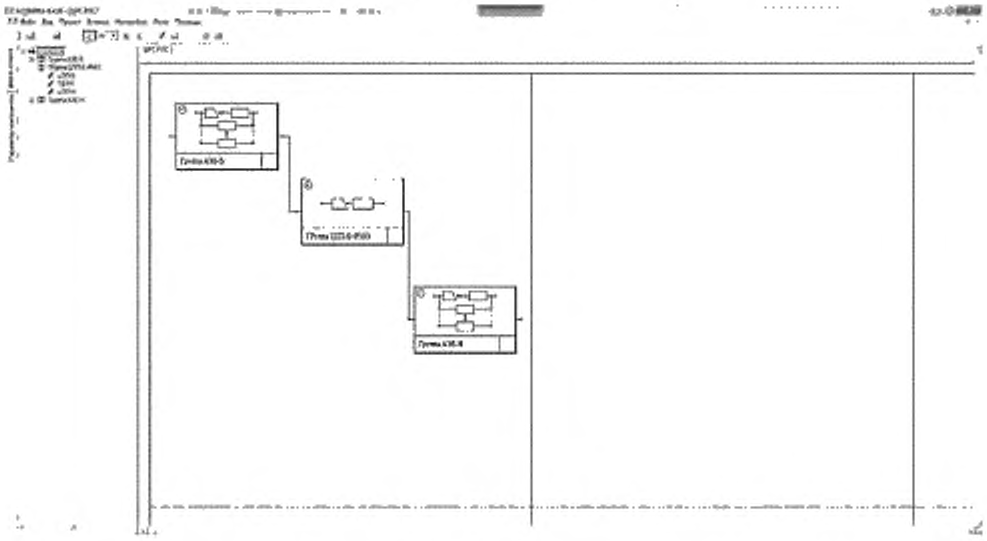


Рисунок Б.17 — Зависимость эксплуатационной интенсивности отказов от температуры окружающей среды



а) В виде блок-схемы



б) В интерфейсе модуля программы

Рисунок Б.18 — Структурная схема надежности БЭ РТК

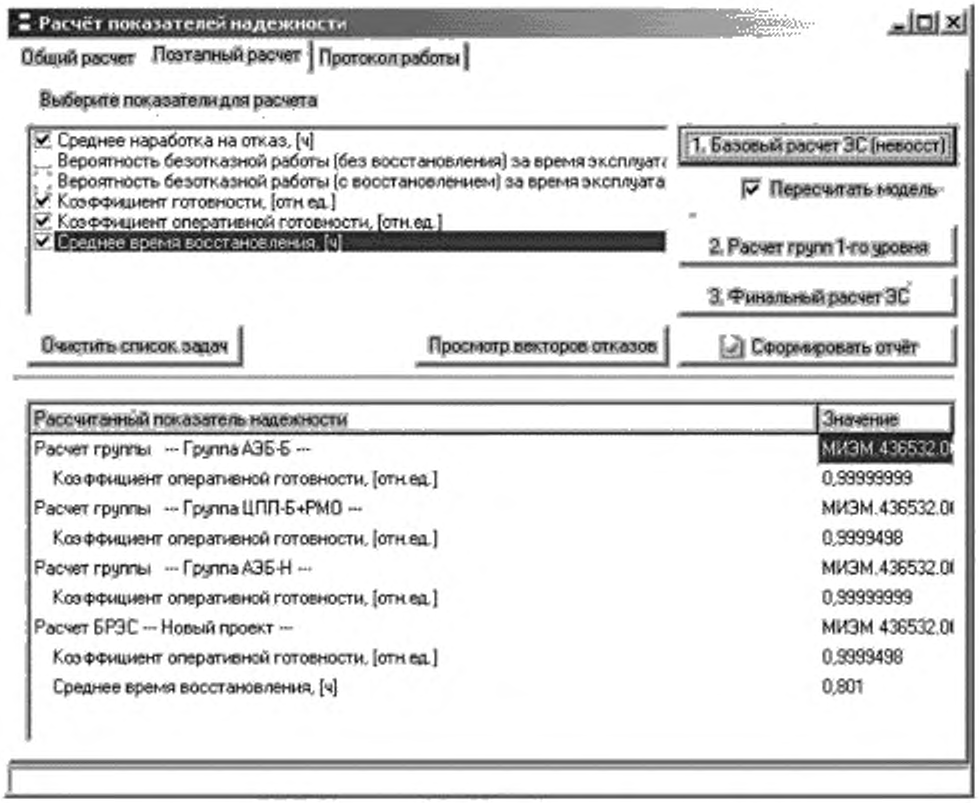


Рисунок Б.19 — Результаты расчета показателей надежности БЭ РТК

Для расчета показателей достаточности комплекта изделия (коэффициента готовности и др.) применяется модуль подсистемы АСОНИКА-К-ЗИП. В таблице Б.5 показан пример формуляра исходных данных, составленного на основе данных о количествах и типах, их характеристиках надежности и т. д., для оцениваемого изделия. Полученные результаты расчета приведены на рисунке Б.20.

Таблица Б.5 — Формуляры исходных данных для изделия

Наименование запасных частей	I0	mi0, шт.	λэi0·106, ч·1	Ci0, руб.	αi0	Tio, ч	βi0, ч	ni0, шт.
Блоки питания								
СН-152	1	4	10	500	3	150	0	1
ВС-650	2	5	56	15 000	3	150	0	1
ВС-561	3	11	60	15 000	3	150	0	1
ВС-323	4	1	120	13 000	3	150	0	1
ВС-559	5	2	284	12 000	3	150	0	1
ВС-585	6	1	200	20 000	3	150	0	0

Окончание таблицы Б.5

Наименование запасных частей	I0	mi0, шт.	λзi0·10⁶, ч⁻¹	Ci0, руб	αi0	Tiо, ч	βi0, ч	ni0, шт.
ТЭЗ-000-01	7	4	8	12 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-02	8	12	8	10 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-03	9	8	7	12 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-04	10	5	6	10 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-05	11	3	8	10 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-06	12	4	12	20 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-07	13	2	18	15 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-08	14	12	12	23 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-09	15	11	15	22 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-10	16	3	18	20 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-11	17	12	18	22 000	3	300	0	1
ТЭЗ-000-12	18	2	24	23 000	3	300	0	1
Реле РЭС-49	19	140	100	13 000	2	8000	65	112
Субблок ФА-1	20	10	180	25 000	2	8000	65	14
Субблок ФА-2	21	2	180	25 000	2	8000	65	2
Субблок ФР-1	22	18	180	25 000	2	8000	65	25
Субблок ФР-2	23	18	180	25 000	2	8000	65	25
Диод Д311А	24	250	5	1000	1	8000	0	18
Конденсаторы								
К50-3А…	25	12	1,8	250	1	8000	0	3
КМБ- Н90…	26	26	1,5	500	1	8000	0	13
Резисторы								
ОМЛТ-0,125-820 Ом	27	95	0,7	100	1	8000	0	4
ОМЛТ-0,125-1,1кОм	28	212	0,7	100	1	8000	0	6
ОМЛТ-0,25-680 Ом	29	37	0,7	100	1	8000	0	3
ОМЛТ-2,0-230 Ом	30	34	0,7	200	1	8000	0	3

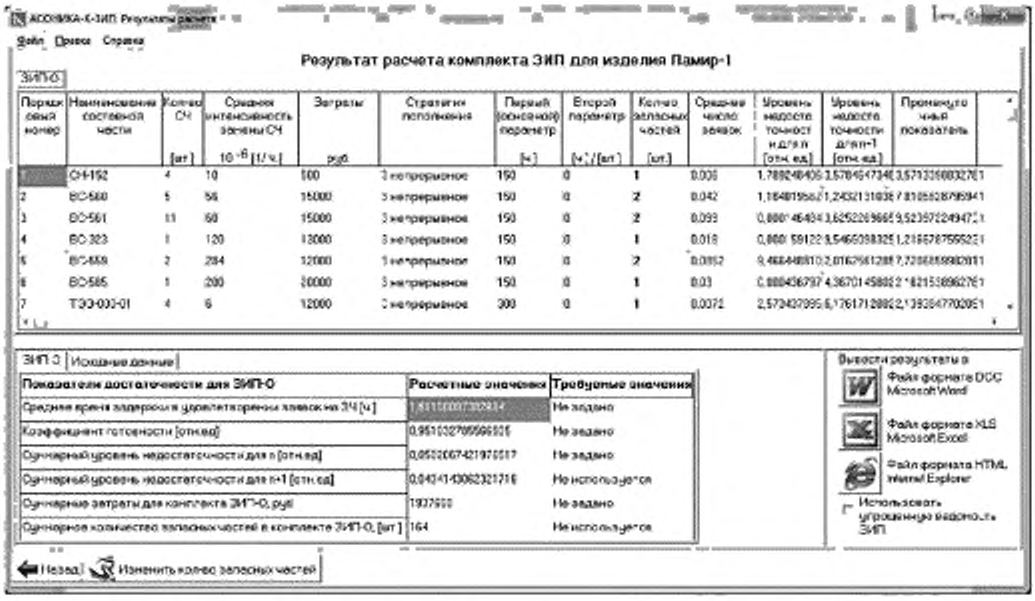


Рисунок Б.20 — Результаты расчета показателей достаточности комплекта ЗИП-О оцениваемого изделия

На рисунке Б.21 показан пример ввода формальной модели поведения для расчета показателей надежности реконфигурируемого БЭ РТК путем проведения имитационного эксперимента (методом Монте-Карло).

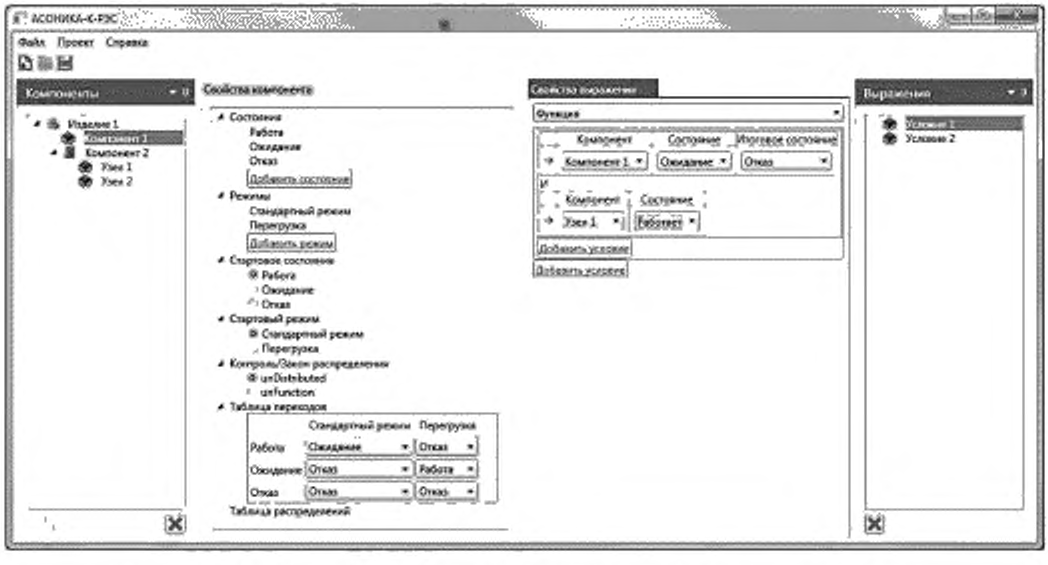


Рисунок Б.21 — Пример ввода формальной модели реконфигурируемого устройства

Библиография

[1] Шалумов А.С., Никишкин С.И., Носков В.Н. Введение в CALS-технологии: Учебное пособие. *Рекомендовано УМО по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов по специальности 220300 «Системы автоматизированного проектирования»*. — Ковров: Ковровская государственная технологическая академия, 2003 — 184 с.

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

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

УДК 621.865.8:007.52:006.354 ОКС 35.020

Ключевые слова: робототехнические комплексы, технология моделирования, виртуализация испытаний, базовые элементы, внешние воздействующие факторы

Редактор *Е.В. Зубарева*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 11.01.2021 Подписано в печать 27.01.2021. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,16.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru