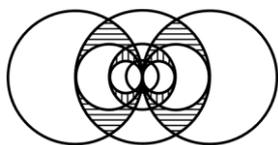


УДК 621.396.6.019.3



Разработка алгоритма расчета надежности несущих конструкций изделий радиоэлектронной аппаратуры при механических воздействиях

© Авторы, 2012

И.С. УРЮПИНаспирант, ОАО ЦНИТИ «Техномаш», ст. науч. сотрудник, начальник сектора моделирования РЭА, ОАО НПЦ «САПСАН»
E-mail: attract777@yandex.ru**А.С. ШАЛУМОВ**д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационные технологии», Владимирский филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ
E-mail: ALS140965@mail.ru**М.В. ТИХОМИРОВ**к.т.н., ст. науч. сотрудник, ООО «НИИ «АСОНИКА»
E-mail: makzek@asonika-online.ru**Е.О. ПЕРШИН**к.т.н., мл. науч. сотрудник, ООО «НИИ «АСОНИКА»
E-mail: makzek@asonika-online.ru

Исследованы программные продукты, предназначенные для расчета надежности несущих конструкций радиоэлектронной аппаратуры. Представлен алгоритм работы модуля расчета надежности несущих конструкций, включаемого в систему АСОНИКА.

Ключевые слова: модель, надежность, механические воздействия, радиоэлектронная аппаратура, качество, несущие конструкции, главные напряжения, АСОНИКА.

In article the software products intended for calculation of reliability of bearing designs of radio-electronic equipment are investigated. The algorithm of operation of the module of calculation of reliability of the bearing designs, included in system ASONIKA is presented.

Keywords: model, reliability, mechanical influences, radio-electronic equipment, the quality, bearing constructions, total mechanical strain, ASONIKA.

Механические воздействия вызывают от 30 до 50 % отказов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Подавляющее большинство отказов связано с выходом параметров за пределы, установленные нормативно-технической документацией (НТД). Под *параметрами* подразумевают такие механические характеристики конструкций РЭА как ускорение, напряжение и перемещение. В результате механических воздействий возможны нарушения требований прочности и, соответственно, требования надежности несущей конструкции изделия (блоки, шкафы РЭА), самих элементов изделия, так и их креплений и соединений. Надежность является одним из самых важных показателей современной техники. От нее зависят такие показатели как качество, эффективность, безопасность, риск, готовность, живучесть. Техника может быть эффективной только при условии, если она имеет высокую надежность [1].

Актуальность темы. Влияние механических воздействий на надежность конструкции

Надежность техники определяется при проектировании и производстве. Чтобы создать техническую

систему, удовлетворяющую требованиям надежности, необходимо уметь рассчитать ее надежность в процессе проектирования, знать методы обеспечения высокой надежности и способы их технической реализации. Необходимо также доказать экспериментально, что показатели надежности спроектированной системы не ниже заданных [1]. Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа. *Отказом* называется событие, которое состоит в нарушении работоспособности системы. Иначе говоря, отказ – это частичная или полная утрата качества системы. К отказам относятся недопустимые отклонения параметров системы от расчетных значений, временные нарушения условий нормальной эксплуатации системы, полный выход системы из строя [2].

Значительная часть отказов имеет механическое происхождение. Даже в радиотехнических устройствах часто встречаются отказы, вызванные разрушением или механическим повреждением элементов и связей между ними. Отказы конструкций и сооружений более разнообразны. Примерами отказов, приводящих к выводу конструкции из строя или по крайней мере требующих

прекращение ее эксплуатации, могут служить обрушение, опрокидывание, потеря устойчивости равновесия сжатых элементов, хрупкое разрушение и т.д. [2].

Одним из методов повышения надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является расчет надежности ее несущей конструкции, т.е. верхний уровень иерархии.

Любая система, в частности несущая конструкция РЭА, обладает определенными параметрами, характеризующими ее качество. Обозначим данное пространство качества V . Одним из таких параметров является предел упругости материалов, из которых изготовлены элементы несущей конструкции. При проведении механических испытаний или эксплуатации изделия в определенный промежуток времени существует вероятность того, что механическое напряжение, возникающее в той или иной детали, превысит предел упругости материала детали, что может привести к ее отказу (разрушение, сокращение ресурса). Обозначим траекторию (график механических напряжений) $v(t)$, а предел упругости (поле допуска) Γ . Отказ интерпретируется как случайное пересечение траекторией $v(t)$ предельной поверхности Γ (или как случайный выброс элемента из области допустимых состояний). Вероятность безотказной работы – функция надежности определяется как вероятность пребывания элемента $v(\tau)$ в допустимой области Ω_0 на отрезке времени $[0, t]$ [2]:

$$P(t) = P\{v(\tau) \in \Omega_0; \tau \in [0, t]\}. \quad (1)$$

Таким образом, сформулирована общая схема оценки надежности несущей конструкции РЭА.

Обзор существующих программных средств для расчета надежности РЭА

Рассмотрим программные продукты, АРБИТР, АСРН, АСОНИКА-Б, предназначенные для анализа надежности радиоэлектронной аппаратуры. В статье представлено их краткое описание, включающее в себя основные функции программ и их возможности.

АРБИТР – это программный комплекс автоматизированного расчета безопасности и технического риска. В настоящее время ПК АРБИТР позволяет автоматически строить математические модели и рассчитывать показатели свойств надежности, стойкости, живучести, устойчивости, технического риска, ожидаемого ущерба и эффективности, а также решать задачи оптимизации надежности. Предназначен для инженеров-проект-

тировщиков, работающих в различных отраслях промышленности, для проведения научных исследований и организации учебного процесса [3].

Основные возможности АРБИТР

1. Представление в исходной схеме функциональной целостности (в суперграфе СФЦ) до 400 элементов (вершин) и до 100 элементов в каждой декомпозированной вершине (подграфах СФЦ) основного графа исследуемой системы (т.е. возможность ввода до 40 000 вершин).

2. Расчет вероятности реализации заданных критериев, представляющих свойства устойчивости (надежность, стойкость, живучесть) и безопасности (технический риск, вероятность возникновения аварийных ситуаций и аварий) систем.

3. Расчет вероятности безотказной работы или отказа и средней наработки до отказа невосстанавливаемых систем.

АСРН – автоматизированная система расчета надежности

Основные возможности АСРН [4]

1. Расчеты надежности ЭРИ и РЭА с максимальной объективностью и достоверностью.

2. Выбор номенклатуры ЭРИ, режимов и условий их применения, соответствующих заданным требованиям надежности.

3. Сокращение времени и трудоемкости расчетов в сотни раз.

4. Возможность стыковки с САПР РЭА.

На рис. 1 представлена схема системы АСРН.

АСОНИКА-Б

Подсистема предназначена для автоматизации процесса проектирования РЭС и позволяет реализовать следующие проектные задачи:

1) определение показателей безотказности всех ЭРИ и внесение изменений в конструкцию с целью достижения необходимой надежности;

2) выбор лучшего варианта резервирования из нескольких имеющихся вариантов с целью обеспечения требуемой надежности;

3) обоснование необходимости и оценка эффективности резервирования РЭС;

4) подсистема АСОНИКА-Б входит в систему АСОНИКА.

АСОНИКА – автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры. Система АСОНИКА («Автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры») – средство расчета тепловых, аэродинамических, механических и электрических процессов в проектируемой аппаратуре. Она является интегрированным средством, позволяющим также сде-

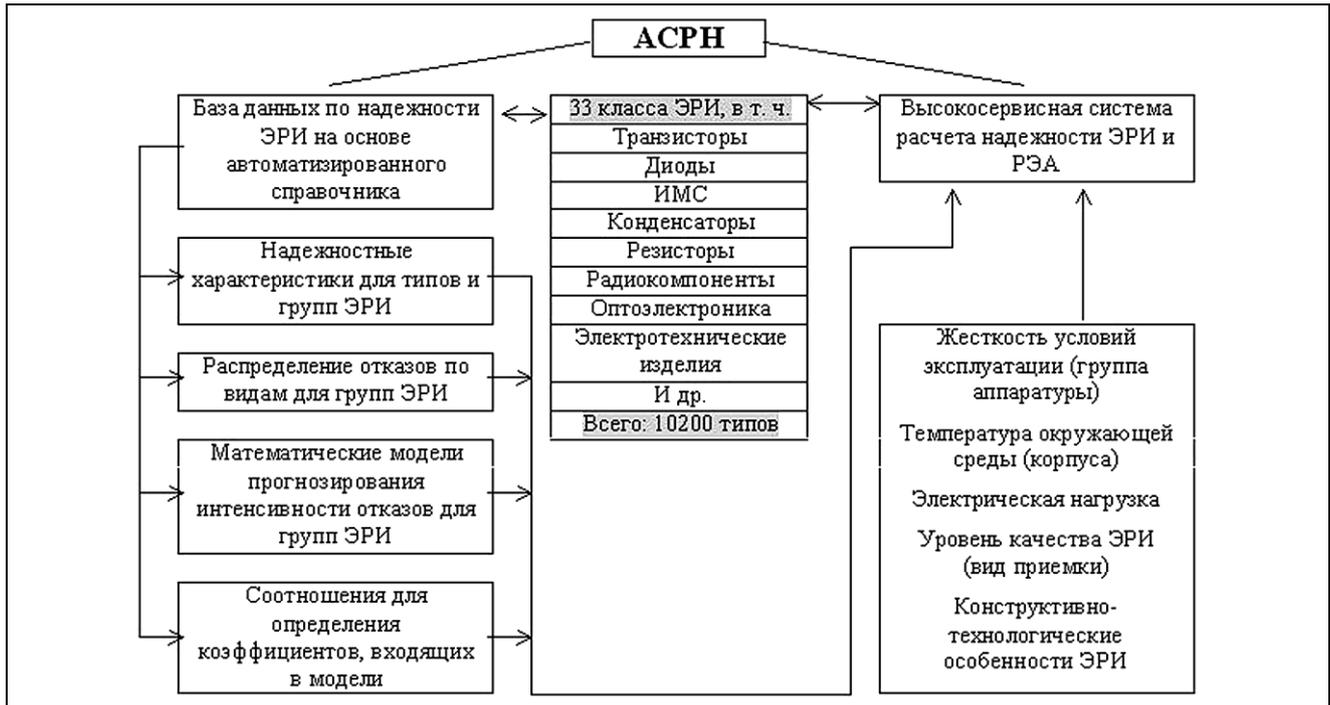


Рис. 1. Схема АСРН

лать полный расчет показателей надежности РЭА. С помощью системы АСОНИКА можно решить задачу диагностирования аппаратуры и контроля режимов ее работы. Специальная подсистема управления проектами АСОНИКА-УМ позволяет провести предварительное планирование работ, проводимых на этапах проектирования, изготовления, испытаний и эксплуатации РЭА. В дальнейшем эта подсистема позволяет проконтролировать ход выполнения план-графика работ и осуществить управление вносимыми изменениями [5].

Основные особенности АСОНИКА-УМ

1. Возможность выполнение сквозного моделирования радиоэлектронной аппаратуры, начиная от моделей верхнего уровня до моделей нижнего уровня (рис. 2).



Рис. 2. Уровни иерархии РЭА

2. Ориентированность на разработчика РЭА, в отличие от современных САЕ-систем. Система АСОНИКА сориентирована на разработчика РЭА. С этой целью в подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ разработаны специальные интерфейсы для ввода типовых конструкций радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) – шкафов, блоков, печатных узлов, что значительно упрощает анализ физических процессов в РЭА [6]: <http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:%D0%90%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0>.

АСОНИКА состоит из восьми подсистем:

АСОНИКА-Б – подсистема анализа показателей безотказности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ;

АСОНИКА-М – подсистема анализа объемных конструкций РЭС на механические воздействия;

АСОНИКА-В – подсистема анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленной на виброизоляторах;

АСОНИКА-Т – подсистема анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры.

АСОНИКА-ТМ – подсистема анализа конструкций печатных узлов РЭС на тепловые и механические воздействия;

АСОНИКА-Р – подсистема автоматизированного заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий (ЭРИ);

АСОНИКА-БД – справочная база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическому, физико-механическому, теплофизическому и надежностным параметрам;

АСОНИКА-УМ – подсистема управления моделированием РЭС при проектировании.

Согласно представленному выше обзору программных продуктов по расчету надежности, системы АСРН и АСОНИКА-Б предназначены непосредственно для анализа показателей безотказности ЭРИ. Система АРБИТР позволяет представить изделие в виде графа. С помощью данного подхода можно описать систему, состоящую как из самой несущей конструкции, так и из непосредственно ЭРИ.

Недостатки АСОНИКА

1. Отсутствие интеграции с другими системами.

2. Невозможность задания входного механического и теплового воздействия, измененного за счет влияния моделей верхнего уровня систем на модели нижнего уровня.

3. Не предназначена специально для анализа несущих конструкций.

Расчет надежности – одна из главных задач при проектировании РЭА. Тем не менее, необходимо учитывать надежность несущей конструкции РЭА, в которой непосредственно установлены ЭРИ. Расчет вероятности безотказной работы несущей конструкции особенно актуален при разработке новых типов. В рассмотренных программных продуктах возможен расчет показателей надежности ЭРИ, но практически не учитывается расчет надежности несущей конструкции самого изделия, т.е. рассматриваются модели нижнего уровня иерархии.

Данная задача реализуется в подсистеме АСОНИКА-М-3D, входящей в состав системы АСОНИКА. На рис. 3 представлен алгоритм работы модуля расчета вероятности безотказной работы несущей конструкции в заданном интервале времени.

Описание алгоритма

Шаг 1. Запуск модуля расчета надежности несущих конструкций осуществляется из подсистемы

АСОНИКА-М-3D, после расчета модели конструкции на механические воздействия, т.е. после перехода в постпроцессор системы АСОНИКА-М-3D.

Шаг 2. В графический интерфейс загружается геометрия модели, ранее импортированная в АСОНИКА-М-IGS.

Шаг 3. В графическом интерфейсе пользователя отображается модель, с полями напряжений, разбитая на конечные элементы.

Шаг 4. Осуществляется выбор механического воздействия:

а) вибрация (случайная и гармоническая);

б) удары (однократный и многократный).

Данное разделение обусловлено тем, что диапазон частот, задаваемый при расчете на воздействие гармонической и случайной вибрации, переводится во временной диапазон, необходимый для расчета вероятности безотказной работы.

Шаги 5А, 5В. Осуществляется задание диапазона времени (5А) и диапазона частот (5В). Диапазон времени или частот не должен превышать диапазон, в котором производился расчет.

Шаг 6В. На данном этапе выполняется перевод диапазона частот во временной диапазон с помощью преобразований Фурье.

Шаг 6А, 7В. Производится выбор интересных деталей несущей конструкции.

Конструктивные признаки сложной системы – многоуровневость базовых конструкций: корпус ЭРИ, плата, модуль, блок, устройство функциональное, прибор, комплекс.

Как правило, принято размещать электронную аппаратуру на многослойных печатных платах – базовых несущих конструкциях первого уровня (БНК-1). Они обеспечивают электрические соединения между ЭРИ, механическую устойчивость и отвод тепла от ЭРИ.

БНК-1 размещаются в конструктиве несущей конструкции второго уровня (БНК-2) – модуле, представляющем собой раму с внешними электросоединителями и фиксирующими замками жесткого крепления в конструктиве высшего уровня. Иногда вместо рамы применяют металлическую пластину, на которой размещают печатную плату с ЭРИ. Число БНК-1 в БНК-2 от 1 до 8.

В зависимости от сложности аппаратуры и ее функциональных особенностей из БНК-2 комплектуют функциональные устройства и размещают в одноэтажных или многоэтажных базовых несущих конструкциях третьего уровня БНК-3, которые обеспечивают электрические соединения (внутренние и внешние) размещенной в них аппаратуры.

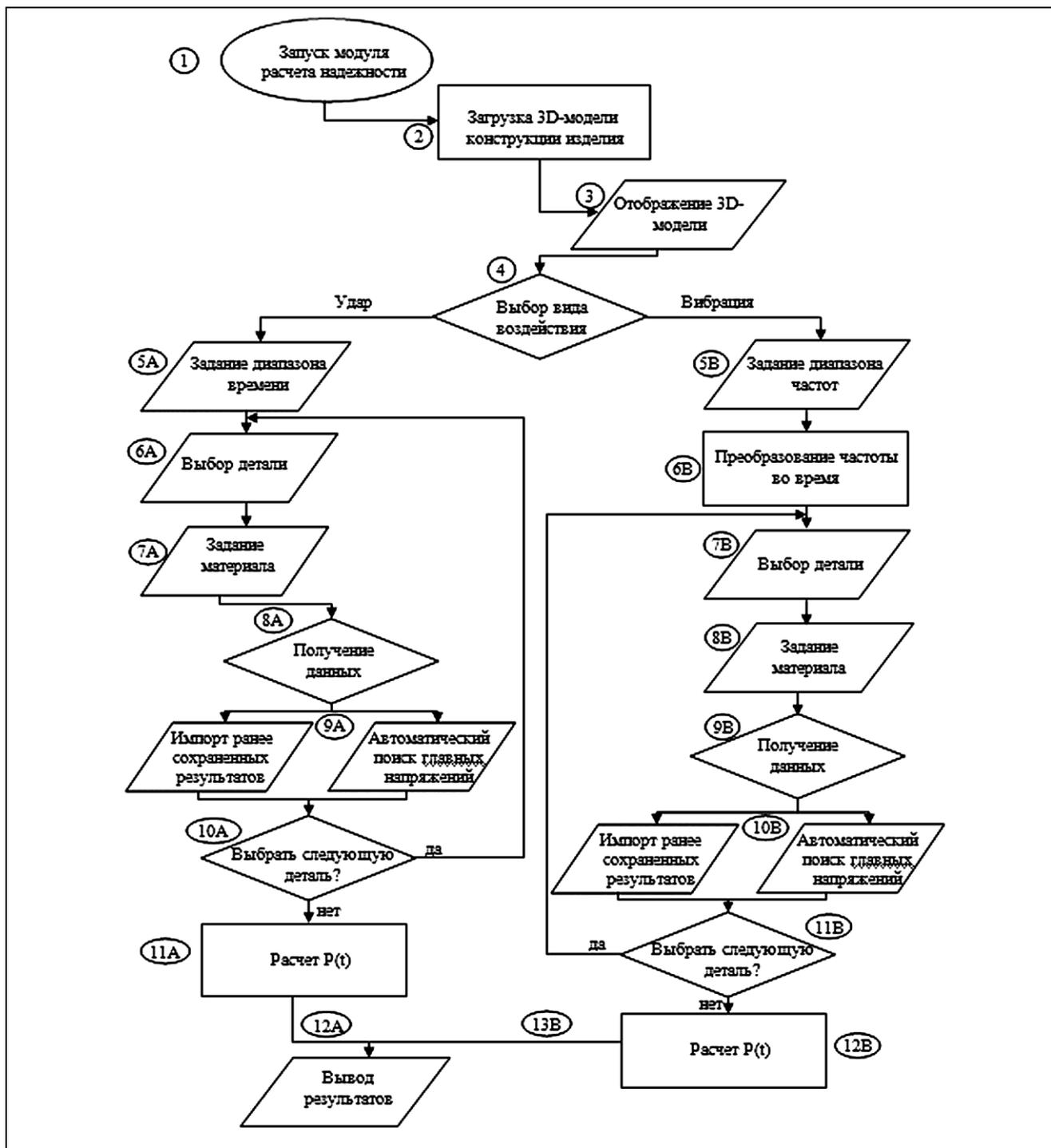


Рис. 3. Реализация алгоритма модуля расчета вероятности безотказной работы

ры, тепловой режим ЭРИ за счет применяемой системы охлаждения и хладоносителя, а также устойчивость ЭРИ к внешним воздействиям [6].

Пользователь может выбрать любую из представленных в списке деталей конструкции, но для наиболее точного расчета вероятности безотказной работы в заданном интервале времени необходимо выбрать детали, входящие в БНК-1

(печатная плата) и БНК-2 (рама, элементы рамы, места креплений).

Шаги 7А, 8В. На данном этапе осуществляется задание параметров материалов. Материал выбирается из базы данных системы АСОНИКА.

Для всех объектов техносферы комплексное решение проблем прочности, ресурса и безопасности в значительной степени сводится к научно-

обоснованному построению реальных и допустимых расчетных кривых и удержанию состояний объектов в пределах допускаемых по уровням напряжений и деформаций [7].

Внешние штатные и нештатные (в том числе аварийные и катастрофические) воздействия создают в анализируемом элементе расчетный уровень напряжений σ и деформаций ϵ . Они зависят от действующих усилий (механические, тепловые, электромагнитные, аэрогидродинамические, сейсмические и др.), способа их приложения, размеров форм и сечений. Если эти воздействия возрастают, то в определенный момент в несущих элементах достигаются предельные (критические) состояния – элементы разрушаются, теряют устойчивость, получают недопустимые деформации; напряжения и деформации в этот момент приобретают предельные (критические) значения σ_r , ϵ_r .

При расчете вероятности безотказной работы в данном модуле, параметрами качества, характеризующими материалы, из которых состоит несущая конструкция, являются допустимые напряжения, значения которых отображаются при выборе материала в графе «Допустимые напряжения» (рис. 4).

Шаги 8А, 9В. Выбирается вариант получения данных: автоматический или возможность импорта.

Шаги 9А, 10В. В выбранной детали осуществляется поиск максимальных (главных) напряжений. Численные значения могут быть получены как при использовании автоматического поиска главных напряжений в детали, так и при импорте значений из файла ранее сохраненных значений напряжений.

Шаги 10А, 11В. Поле того как параметры для одной детали заданы пользователем, возмо-

Материал для объекта "Блок"	
Модуль Юнга [Па]	2.97E+10
Коэффициент Пуассона	3.30E-01
Плотность [кг/м³]	2.56E+03
Коэффициент теплопроводности [Вт/(м·к)]	2.10E+02
Коэффициент теплоотдачи [Вт/м²]	9.20E+02
Допустимые напряжения [Па]	2.20E+08
Коэффициент демпфирования	
для вибрации	1.88E-02
для удара	5.00E-06

Рис. 4. Параметры материала

жен выбор другой детали, для проведения более точного расчета.

Шаги 11А, 12В. Расчет вероятности безотказной работы изделия в заданном интервале времени.

Если принять, что все расчетные параметры в выражениях имеют вероятностную природу, то наступление отказов носит вероятностный характер [7]. Определяется вероятность безотказной работы изделия при заданных воздействиях, в заданном интервале времени.

Заключение

1. Для повышения надежности несущих конструкций на этапе проектирования был разработан алгоритм работы модуля (подсистемы) расчета вероятности безотказной работы несущей конструкции радиоэлектронной аппаратуры.

2. При применении данного модуля возможно значительное снижение временных затрат на этапе проектирования как нового типа несущей конструкции, так и доработки ранее существующих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Изд. 2-е перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург. 2006 704 с.
2. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Стройиздат. 1981. 351 с.
3. Викторова В.С., Кунтшер Х.П., Степанянц А.С. Анализ программного обеспечения моделирования надежности и безопасности систем // Надежность. 2006. № 4 (19). С. 46 – 57.
4. http://www.elstandart.spb.ru/Core/100/dest_9_6.htm.
5. <http://www.cadprofi.ru/wiki/index.php/%D0%90%D0%A1%D0%9E%D0%9D%D0%98%D0%9A%D0%90>.
6. Шалумов А.С., Малютин Н.В., Кофанов Ю.Н., Способ Д.А., Жаднов В.В., Носков В.Н., Ваченко А.С. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Т.1 / Под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова. М.: Энергоатомиздат. 2007. 368 с.
7. Махутов Н.А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. Новосибирск: Наука. 2008. 528 с.

Поступила 1 июля 2012 г.