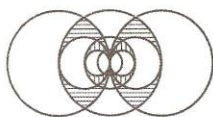


УДК 621.396.6.019.3



Разработка методики повышения надежности несущих конструкций радиоэлектронной аппаратуры на этапе проектирования

© Авторы, 2012

И. С. УРЮПИН – ст. науч. сотрудник, начальник сектора моделирования РЭА, ОАО НПЦ «САПСАН», аспирант при ОАО ЦНИТИ «Технамаш»
E-mail: attract777@yandex.ru

А. С. ШАЛУМОВ – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационные технологии», Владимирский филиал РАНХ и ГС при Президенте РФ, академик Международной академии информатизации, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники
E-mail: ALS140965@mail.ru

Рассмотрены методики моделирования радиоэлектронной аппаратуры в подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-М-IGS. Описан метод повышения надежности несущих конструкций радиоэлектронной аппаратуры. Приведены примеры.

Ключевые слова: модель, моделирование, механические воздействия, радиоэлектронная аппаратура, надежность, качество, несущие конструкции, система АСОНИКА, изделие.

In article techniques of modeling of radio-electronic equipment in subsystems of ASONIKA-M and ASONIKA-M-IGS are considered, and also the method of increase of reliability of bearing constructions of radio-electronic equipment is described. Examples are resulted.

Keywords: model, modeling, mechanical influences, radio-electronic equipment, reliability, the quality, bearing constructions, system ASONIKA, item.

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* подразумеваются такие механические характеристики конструкций РЭА как ускорение, напряжение и перемещение. В результате механических воздействий возможны нарушения требований прочности и, соответственно, требований надежности несущей конструкции изделия (блоки, шкафы РЭА), самих элементов изделия, так и их креплений и соединений. Например, плохие пайки разрушаются и нарушается контакт, при недостаточной амортизации замыкаются электроды ламп; незаметные трещины на поверхности остеклованных сопротивлений переходят в сколы части защитного покрытия.

Большую опасность представляет резонанс – совпадение собственной частоты механических колебаний деталей или узлов с частотой возбуждения вибрации. При механическом резонансе могут возникнуть нарушения работоспособности аппаратуры. Для обнаружения резонансов изделие подвергается испытаниям в диапазоне частот вибрации [1]. При этом при испытаниях никто не

контролирует механические ускорение и напряжение на каждом радиоэлементе [2]. В большинстве конструкций РЭА элементы содержатся внутри корпуса изделия, что при проведении механических испытаний делает затруднительным или невозможным установку датчика на тот или иной печатный узел или радиоэлектронный компонент. Кроме того, при проведении механических испытаний значение входных воздействий могут как увеличиваться, так и уменьшаться за счет возникновения резонансов в несущей конструкции РЭА. Таким образом, отсутствует информация о значениях ускорений, перемещений и напряжений на радиоэлектронных компонентах, установленных внутри корпуса РЭА.

Одним из вариантов решения данной проблемы является применение численных методов для расчета динамических параметров конструкций РЭА. Метод конечных элементов является одним из наиболее эффективных численных методов решения математических задач, описывающих состояние физических систем сложной структуры. В последние десятилетия он занял ведущее положение и получил широкое применение [3].

В настоящее время существует множество программных продуктов (САЕ-системы), в основе

которых лежит метод конечных элементов. Наиболее распространенными являются: ANSYS, NASTRAN, MARK, ABAQUS.

Однако применение CAE-систем требует серьезных теоретических знаний и опыта использования данных программных продуктов. Также, существует проблема отсутствия специализированных баз данных по параметрам материалов конструкции РЭА и радиоэлементам. Это, в свою очередь, увеличивает время на построение модели и ставит под сомнение точность моделирования. Другими недостатками являются ограниченность или отсутствие расчета надежности несущих конструкций при механических воздействиях и отсутствие методики создания моделей, предназначенных для конечно-элементного анализа.

Решением задачи моделирования механических процессов в конструкциях РЭА занимались такие специалисты как Е.Н. Маквецов [4], Ю.Н. Кофанов [5, 6], А.С. Шалумов [6] и др. Но в данных работах отсутствует методика создания моделей в САПР таких как SolidWorks, Proenginreer, а также последующий расчет моделей РЭА на механические воздействия. Не был реализован алгоритм по расчету надежности несущих конструкций, подвергающихся механическим воздействиям.

Передача параметров механических воздействий в местах крепления печатных узлов из подсистемы АСОНИКА-М в подсистему АСОНИКА-ТМ

В связи со сложной конфигурацией РЭС для проведения расчетов часто приходится упрощать конструкцию – модели верхнего и нижнего уровней. Это, в свою очередь, влияет на сходимость с результатами реальных испытаний. Возникает необходимость исследовать модели нижнего уровня на влияние выходных воздействий моделей верхнего уровня, например модель верхнего уровня является конструкцией РЭА, модель нижнего уровня – установленный внутри данной конструкции печатный узел.

В этом случае актуальна интеграция между двумя программными продуктами. Во-первых, задаваемое воздействие, оказываемое на модель верхнего, не совпадает с воздействием, оказываемым на модели нижнего уровня. Во-вторых, появляется возможность наиболее точно обнаружить «слабые» места модели нижнего уровня. Для реализации данной задачи была разработана

методика передачи механических воздействий от моделей верхнего уровня моделям нижнего уровня. В данной статье представлено ее практическое применение при моделировании механических воздействий.

Из рассмотренных программных средств, наиболее подходящим для решения данной задачи, является система АСОНИКА. Большинство CAE-систем являются системами широкого профиля и применяются в различных отраслях промышленности, что не позволяет учитывать некоторые особенности конструкций, при проектировании РЭА, в частности. Это приводит к временным затратам, так как отсутствуют модули по созданию типовых конструкций, отсутствует база данных ЭРИ, отсутствует или затруднена возможность передачи механических воздействий от моделей верхнего уровня моделям нижнего уровня.

АСОНИКА – автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры, предназначенная для анализа РЭА на тепловые механические и другие воздействия на ранних этапах проектирования.

Особенностями системы АСОНИКА

1. Наличие собственной базы данных материалов и радиоэлектронных компонентов.
2. Удобный графический интерфейс.

Система АСОНИКА состоит из семи подсистем, каждая из которых реализует отдельную задачу. Для решения конкретной задачи (расчет конструкции блока кассетного типа, сохранение заданных воздействий и дальнейшей их передача для более подробного анализа) были выбраны подсистемы АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ.

Подсистема АСОНИКА-М предназначена для анализа ускорений, перемещений и напряжений при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, ударов, линейных ускорений в типовых конструкциях шкафов, цилиндрических блоков, блоков кассетного и этажерочного, а также сложных блоков с различным исполнением и размещением кронштейнов с печатными узлами и пенными блоками РЭС.

Основные положения метода взаимодействия «проектировщик – система» для моделирования механических процессов в несущих конструкциях РЭС, положенные в основу подсистемы АСОНИКА-М

1. Методики расчета несущих конструкций РЭС с использованием расчётного ядра, работающего с конечно-элементными моделями под-

системы АСОНИКА-М при заданных механических воздействиях.

2. Инструментарий с интуитивно понятным интерфейсом ввода/вывода, хорошо понятным проектировщику РЭС, что повышает эффективность процесса моделирования (главную роль играют программы для автоматизированного ввода моделей, расчета и вывода результатов).

3. Система управления данными, возможность автоматической передачи информации между различными уровнями иерархии.

Подсистема АСОНИКА-ТМ позволяет анализировать печатные узлы радиоэлектронных средств и проводить расчет стационарного и нестационарного теплового режима как при нормальном, так и при пониженном давлении.

Виды механических воздействий

1. Гармоническая вибрация.
2. Случайная вибрация.
3. Удар одиночный и многократный.
4. Линейное ускорение.
5. Акустический шум.

Немаловажным фактором является возможность передачи данных из САД-системы в САЕ-систему для проведения дальнейшего анализа. Например из Solidworks или Pro-engineer в ANSYS, из PCAD в АСОНИКА-ТМ и т.д.

Причины, по которым идет выбор данных подсистем

1. Удобный интерфейс.
2. Возможность передачи параметров воздействий более удобным способом, чем в других САЕ-системах.
3. Наличие собственной базы данных материалов и радиоэлементов.
4. Русифицированность.
5. Принадлежность к одной системе – АСОНИКА.

Одна из особенностей системы АСОНИКА – связь между подсистемами. В данной статье показана связь подсистем АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ. Связь заключается в передаче выходного воздействия из подсистемы АСОНИКА-М в подсистему АСОНИКА-ТМ, где оно становится входным. Это позволяет проанализировать модель нижнего уровня на влияние воздействия, оказываемого моделью верхнего уровня. На рис. 1 представлен алгоритм передачи данных из подсистемы АСОНИКА-М в подсистему АСОНИКА-ТМ.

Данный алгоритм реализован на примере блока кассетного типа (рис. 2) – модели верхнего уровня и печатного узла импортированного в подсистему АСОНИКА-ТМ из PCAD2006 (рис. 3) – модели нижнего уровня. Печатный узел закреплен в блоке.



Рис. 1. Алгоритм передачи воздействий

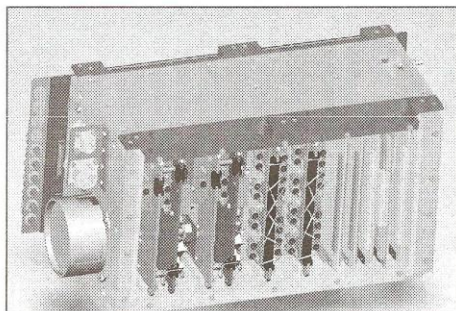


Рис. 2. Блок кассетного типа (вид без стенки)

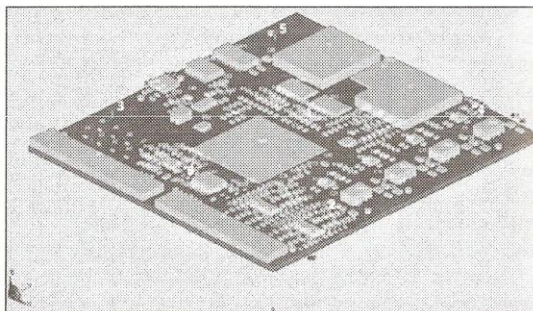


Рис. 3. Печатный узел

Рис. 1. Алгоритм передачи воздействий

Рис. 2. Блок кассетного типа (вид без стенки)

Рис. 3. Печатный узел

В статье практическая реализация методики передачи воздействий показана на примере удара однократного действия.

Чтобы рассчитать конструкцию блока на указанные воздействия, необходимо построить ее в подсистеме АСОНИКА-М. Данная конструкция типовая и является блоком кассетного типа. На рис. 4. представлен блок кассетного типа, смоделированный в подсистеме АСОНИКА-М.

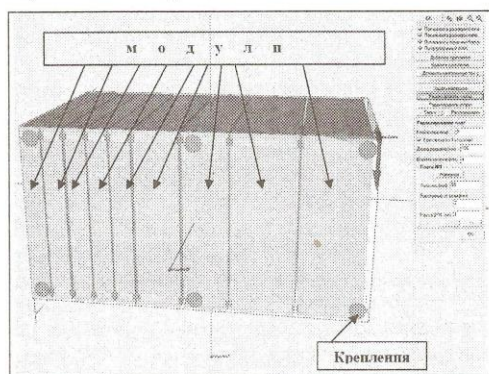


Рис. 4. Блок кассетного типа, смоделированный в подсистеме АСОНИКА-М

Модули, содержащиеся в данном блоке, отображаются в виде прямоугольников. Для каждого модуля задается материал, и автоматически рассчитываются массовые характеристики. Окружностями обозначаются крепления блока. Следующим шагом в моделировании является задание воздействий. В качестве примера производится расчет на воздействие одиночного удара.

Согласно ТУ: «Изделие должно быть работоспособным, сохранять внешний вид и соответствовать требованиям после испытания на прочность узлов крепления при воздействии механического удара одиночного действия».

Осуществляется по три удара в каждом из шести направлений по осям $\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$, с пиковым ударным ускорением 15 g при длительности 15 мс».

Данные вводятся в подсистему АСОНИКА-М. Задается диапазон частот и амплитуда. Далее проводится расчет конструкции.

Выходные воздействия отличаются от входных. Именно их необходимо учесть при расчете печатного узла на механические воздействия. Затем осуществляется передача выходного воздействия из подсистемы АСОНИКА-М в подсистему АСОНИКА-ТМ. Для экспорта воздействия необходимо выбрать на печатной плате точку, которая

имитирует датчик, установленный на креплении печатного узла к блоку. Сначала файл со значениями в данном узле сохраняется, а далее выбирается ось направления воздействия. Далее воздействие импортируется в подсистему АСОНИКА-ТМ.

В подсистеме АСОНИКА-ТМ на одном из креплений, ранее обозначенных в АСОНИКА-М, выставляется контрольная точка.

Таким образом, вместо изначального воздействия, заданного в ТУ, на крепление печатного узла к блоку осуществляется измененное, за счет резонансов несущей конструкции воздействие. Далее производится расчет на воздействие одиночного удара.

Таким образом, с помощью методики передачи воздействий, на конкретном примере, обеспечивается связь между двумя подсистемами, а также получение более полной информации относительно влияния моделей верхнего уровня на модели нижнего уровня.

Методика расчета конструкций изделий в АСОНИКА-М-IGS

Как показывает практика, конструкции РЭА часто могут отличаться от стандартных форм исполнения (блок кассетный, блок цилиндрический, шкаф).

В подсистеме АСОНИКА-М-IGS имеется возможность рассчитывать на механические воздействия модели любого конструктивного исполнения, импортированные из САД-систем, таких как SolidWorks, Pro-engineer и др. Это позволяет повысить сходимость результатов моделирования с данными эксперимента, в отличие от применения типовых конструкций в АСОНИКА-М, предназначенных для более быстрого получения результата расчета, но менее точного.

Тем не менее, существуют ограничения по точности создания модели, так как расчетным ядром подсистем АСОНИКА-М и АСОНИКА-М-IGS является САЕ-система ANSYS, принцип работы которой основан на применении метода конечных элементов.

При создании расчетной схемы сложной конструкции прибегают к некоторой идеализации ее формы, при этом степень идеализации влияет на достоверность результатов расчета [7].

С точки зрения расчета на прочность, изделия радиоэлектронной аппаратуры осложнены.

Проблемы

1. Наличие большого числа радиоэлектронных компонентов (свыше тысячи) расположенных на печатных узлах модулей, встроенных в конст-

рукцию. Это существенно замедляет процесс расчета или делает его невозможным для расчета на ЭВМ. На рис. 5 представлена импортированная в АСОНИКА-M-IGS модель.

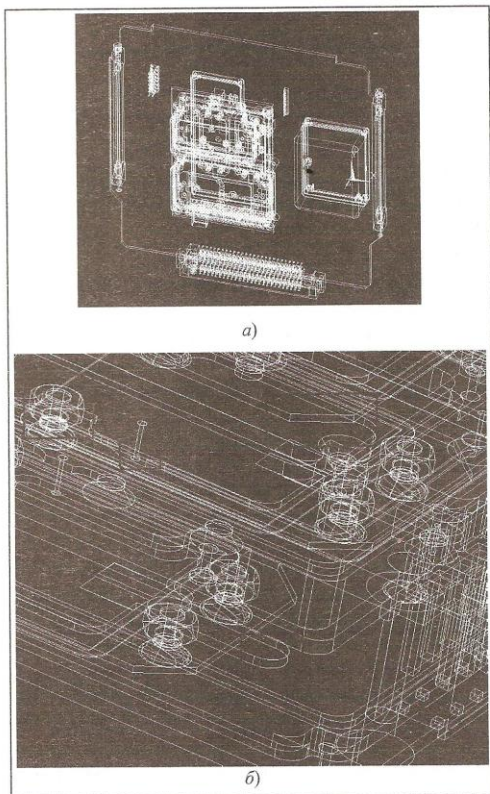


Рис. 5. Пример не упрощенной модели конструкции: а – импортированная, не идеализированная модель; б – фрагмент импортированной, не идеализированной модели

2. Наличие в модели малогабаритных деталей: винты, кабели, шайбы, что, в свою очередь, приведет к «сложным» соединениям и затруднит разбиение конструкции на конечные элементы. Перечисленные модели влияют на размер конечных элементов, их количество, вероятность безошибочного импорта конструкции и, как было сказано выше, на время дальнейших расчетов. Некоторыми такими деталями можно пренебречь, так как вносимая ими жесткость мала, и это мало отражается на результате расчета. Болты, гайки, шайбы, свою прямую функцию не выполняют при расчете. Но они необходимы, если того требуют условия задачи.

3. Конструктивное исполнение некоторых деталей. К примеру, наличие отверстий, фасок и скруглений. На границе данных областей происходит «сгущение» сетки конечных элементов, что приводит к увеличению их количества и уменьшению их размера, увеличению времени расчета, уменьшению вероятности расчета конструкции (так как срывается ограничение программы по количеству конечных элементов).

В итоге, в погоне за точностью увеличивается время импорта, затрудняется создание сетки конечных элементов, и, как следствие, время расчета. Связано это с тем, что увеличивается количество деталей, а следовательно поверхностей, сборка становится более громоздкой. При расчете в САЕ-системах используют идеализированную расчетную модель. Таким образом, для решения задач по расчету нетиповых конструкций на механические воздействия, была разработана методика по работе с подсистемой АСОНИКА-M-IGS. На одном из примеров показано ее применение.

На рис. 6 представлен алгоритм по работе с подсистемой АСОНИКА-M-IGS.



Рис. 6. Алгоритм по работе с подсистемой АСОНИКА-M-IGS

Исходная модель

Перед сохранением в формате, предназначенным для передачи в подсистему АСОНИКА-M-IGS, часто необходимо идеализировать модель конструкции блока.

Наиболее распространенные методы упрощения конструкции

1. Исключение малогабаритных по сравнению с конструкцией деталей, или замена их эквивалентными деталями более простой формы.

2. Исключение, где это представляется возможным, фасок и скруглений.

3. Отсутствие пересечений деталей в сборке.

4. Условия закрепления конструкции, так как закрепление необходимо задать точно. Упрощенное закрепление (например, по линии вместо точки), увеличит расходимость результатов расчета с экспериментом.

Сохранение модели

В современной CAD-системе имеется возможность сохранить геометрию конструкции в любом формате. Подсистема АСОНИКА-М-IGS позволяет импортировать данные, сохраненные в форматах *.SAT, *.IGS, *.asm. Многообразие форматов для сохранения объясняется тем, что не из каждой CAD-системы можно безошибочно импортировать конструкции в том или ином формате, и возможности импорта данной конструкции в ANSYS. Так, например, если конструкция была создана в Pro-engineer, то для ее сохранения применяется формат IGS. При сохранении в SolidWorks, наиболее безошибочным форматом для сохранения геометрии является формат SAT. Данная конструкция была сохранена в формате SAT.

Импорт в подсистему АСОНИКА-М-IGS

В подсистеме АСОНИКА-М-IGS создается новый проект, сохраняется, осуществляется переход к интерфейсу по работе с моделью, осуществляется импорт модели. Далее модель разбивается на конечные элементы, задаются материалы конструкции, а также крепления.

Анализ надежности несущих конструкций при механических воздействиях

Обычный, детерминистический подход к расчету конструкции состоит, в сущности, из двух этапов.

Этап 1. Вычисляются напряжения, деформации и перемещения в конструкциях, подверженных действию внешних нагрузок, или вычисляются некоторые предельные значения этих нагрузок. Решению этой задачи служат методы строительной механики, теории упругости, теории пластичности и т.п.

Этап 2. Расчет состоит либо в сопоставлении вычисленных напряжений, деформаций, перемещений с некоторыми нормативно допустимыми значениями, либо в сопоставлении расчетных нагрузок с предельными нагрузками. Вторым этапом является важным. Именно на этом этапе косвенными и довольно примитивными методами выбирается достаточно надежная, долговечная и экономичная конструкция.

В подавляющем большинстве работ по теории надежности почти не затрагиваются те механические, физические и химические явления, которые являются причиной отказов. Надежность и долговечность конструкций целиком определяется взаимодействием между внешней средой, с одной стороны, и свойствами конструкции, с другой. Весьма сложный характер этого взаимодействия, а также взаимодействия элементов между собой, лишает возможности ограничиться понятиями и методами математической теории надежности. С другой, хорошо разработанный аппарат строительной механики, теории упругости, теории пластичности и теории колебаний, распространенный на стохастические задачи, позволяет получать достаточно адекватное описание стохастического поведения конструкции.

Рассмотрим поведение некоторой системы при внешних воздействиях. Уравнение системы возьмем в общем виде:

$$Lu = q, \quad (1)$$

где q – элемент из пространства входных параметров Q ; u – элемент из пространства выходных параметров U ; L – оператор системы. Пространство U выбирается таким образом, чтобы при помощи его элементов $u \in U$ можно было полностью охарактеризовать любое состояние системы. А именно, каждому состоянию соответствует $u \in U$. При изменении параметра времени t одно состояние переходит в другое. Эволюция состояний описывается функциями $u(t)$; их геометрическим образом служат траектории в пространстве состояний U .

Введем теперь пространство V для описания качества системы. Пусть каждому качеству системы соответствует элемент $v \in V$; при этом время t играет роль параметра. Каждой траектории $u(t)$ в пространстве в пространстве U соответствует некоторая траектория $v(t)$ в пространстве качества V . Связь между элементами этих пространств и траекториями в них дается операторным соотношением. Оператор M может быть, в частности, тождественным оператором:

$$v = Mu. \quad (2)$$

Множество состояний системы, допустимых с точки зрения качества, образует в пространстве качества M область допустимых состояний Ω_0 . Граница области Ω_0 соответствует предельным состояниям. Эту границу будем называть *предельной поверхностью* и обозначать Γ . Если $v \in \Omega_0$, то это означает, что параметры качества системы сохра-

няются в установленных допусках. Пересечение траекторий $v(t)$ предельной поверхности Γ в направлении внешней нормали соответствует отказу системы. Тогда пространства Q, U и V – евклидовы пространства. На рис. 7 представлены траектории $q(t), u(t), v(t)$ для случая, когда пространства Q, U и V являются евклидовыми трехмерными пространствами.

Пусть внешнее воздействие $q(t)$ и (или) оператор системы L являются стохастическими. Тогда траектории $v(t)$ в пространстве качества V будут также стохастическими. Отказ интерпретируется как случайное пересечение траекторией $v(t)$ предельной поверхности Γ (или как случайный выброс элемента из области допустимых состояний) [8]. Вероятность безотказной работы – функция надежности, определяется как вероятность пребывания элемента $v(\tau)$ в допустимой области Ω_0 на отрезке времени $[0, t]$:

$$P(t) = P\{v(\tau) \in \Omega_0; \tau \in [0, t]\}. \quad (3)$$

Для высоконадежных систем выброс параметров за пределы допустимой области является

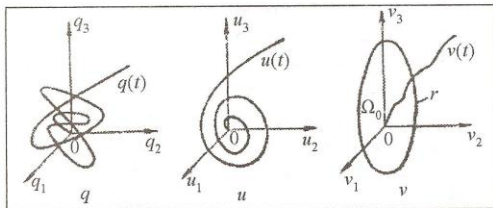


Рис. 7. Траектории пространств $q(t), u(t), v(t)$

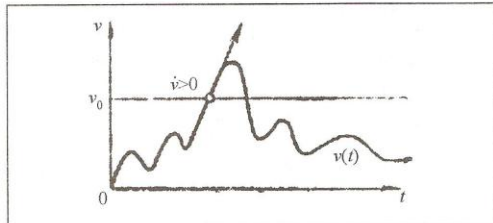


Рис. 8. Пересечение процесса $v(t)$ с уровнем v_0

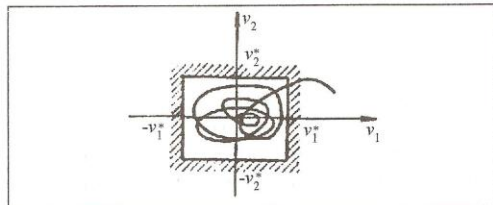


Рис. 9. Двумерное пространство качества

достаточно редким событием. При этих условиях вероятность выброса можно с достаточной точностью оценить, выражая ее через математическое ожидание числа выбросов на отрезке $[0, t]$. Поведение конструкции при испытаниях представляется как случайный процесс. Пусть $v(t)$ – непрерывный и дифференцируемый случайный процесс с заданной совместной плотностью вероятности $p(v, v; t)$, зависящий от t как от параметра. Из области возможных значений $v(t)$ берется некоторое детерминистическое постоянное значение v_* и рассчитывается математическое ожидание числа пересечений процессом $v(t)$ уровня v_* (рис. 8).

Таким образом, задача сводится к вычислению вероятности случайного события, состоящего в том, что за малый промежуток времени Δt произойдет одно положительное пересечение уровня v_* . Функция надежности определяется по формуле (модель пуассоновского типа):

$$P(t) \approx 1 - \int_0^t v_+(v_*; \tau) d\tau, \quad (4)$$

где $v_+(v_*; \tau)$ – математическое ожидание числа положительных пересечений уровня v_* в единицу времени [8].

Также качество системы может характеризоваться несколькими параметрами. Исходя из этого, пространство качества V – многомерное евклидово пространство. Общая схема вычислений остается прежней. Сначала выводится формула для математического ожидания числа пересечений траекторией $v(t)$ границы Γ , допустимой области Ω_0 , затем данное значение используется для приближенной оценки функции надежности. Математическое ожидание числа пересечений в единицу времени обозначается через $v_+(\Gamma; t)$. На рис. 9 представлен пример двумерного пространства качества, представляющее собой прямоугольник со сторонами $2v_1^*$ и $2v_2^*$.

Ограничимся тем, что вычислим математическое ожидание числа положительных пересечений поверхности n -мерного параллелепипеда стационарным гауссовским процессом $v(t)$, полагая компоненты этого процесса стохастически независимыми. Функция надежности рассчитывается по формуле [8]:

$$P(t) \sim 1 - \sum_{k=1}^n N_k(t), \quad (5)$$

где $N_k(t)$ – математическое ожидание числа положительных пересечений поверхности Γ_k за отрезок времени $(0, t]$.

Сформулирована общая схема оценки надежности с учетом физических, технических и эксплуатационных аспектов. Эта схема складывается из четырех этапов.

Этап 1. Схематизация системы (конструкции) и внешних воздействий на нее, т.е. выбор пространств Q и V . Тем самым вводится оператор L .

Этап 2. Состоит в определении стохастического поведения системы при случайных воздействиях.

Этап 3. Заключается в выборе пространства качества V и области допустимых состояний Ω_0 . Этот выбор делается с учетом требований ТЗ.

Этап 4. Определение функции надежности $P(t)$, являющейся результатом учета ряда факторов: внешней среды, свойств системы, технологический и эксплуатационных требований.

Выполнение первых двух этапов осуществляется в подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-М-IGS. Этапы 3 и 4 реализуются с помощью методики расчета надежности несущих конструкций (рис. 10).

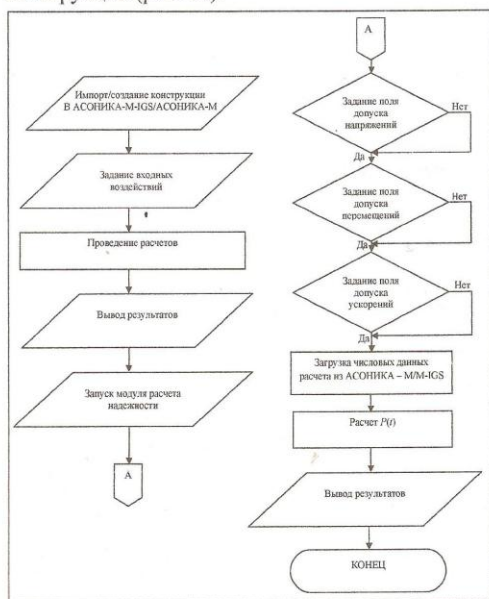


Рис. 10. Алгоритм расчета функции надежности

Рассмотрим работу данного алгоритма по шагам.

Шаг 1. Импорт ранее созданной модели в подсистему АСОНИКА-М-IGS.

Шаг 2. Задание материалов конструкции, введение креплений, разбиение на конечные элементы и ввод параметров механических воздействий.

Шаг 3. Проведение расчетов в подсистеме АСОНИКА-М-IGS.

Шаг 4. Анализ результатов.

Таким образом, первые четыре шага осуществляются согласно методике, представленной в данной статье.

Шаг 5. На данном шаге запускается модуль расчета надежности несущей конструкции. Задаются параметры качества v и область допустимых состояний Ω_0 . Под параметрами качества подразумеваются напряжения, перемещения, ускорения. Область допустимых состояний – максимальные значения параметров, заданных в ТЗ.

Шаг 6. На данном шаге производится расчет функции надежности. Соответственно в зависимости, от того сколько параметров качества будет указано (один или несколько), расчет надежности производится как для одномерного пространства качества, так и для многомерного.

Шаг 7. На этом шаге осуществляется вывод результатов расчета функции надежности $P(t)$.

Таким образом, для повышения надежности несущих конструкций на этапе проектирования были разработаны следующие материалы.

1. Методика передачи воздействий из подсистемы АСОНИКА-М в подсистему АСОНИКА-ТМ. Применение данной методики позволяет определить влияние модели верхнего уровня на модели нижнего уровня.

2. Методика расчета конструкций изделий в подсистеме АСОНИКА-М-IGS, позволяющая наиболее точно создать геометрию конструкции для выполнения прочностных расчетов с сокращением времени, занимаемого процессом расчета.

3. Основные положения теории надежности в расчетах сооружений, предложен алгоритм по расчету надежности несущих конструкций для дальнейшей реализации в системе АСОНИКА.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Малинский В.Д., Ошер Д.Н.* Испытания радиоаппаратуры. М.-Л.: Энергия. 1965.
2. *Дзержинский С.М., Рыжанков В.И.* Модель форсирования испытаний РЭА на воздействие широкополосной случайной вибрации // Междувед. темат. науч. сб. «Механика радиоэлектронных и вычислительных устройств». Таганрог: Изд-во ТРТИ. 1982. Вып. 2 С. 61–66.
3. *Зенкевич О.С.* Метод конечных элементов в технике. М.: Мир. 1975.
4. *Маквеев Е.Н., Тартаковский А.М.* Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. М.: Радио и связь. 1993.
5. *Кофанов Ю.Н. и др.* Информационная технология моделирования механических процессов в конструкциях радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь. 2000.
6. *Шалунов 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. Шалунова. М.: Энергоатомиздат. 2007.
7. *Калпун А.Б., Морозов Е.М.* ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. М.: Едиториал УРСС. 2003.
8. *Болотин В.В.* Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат. 1981.
9. *Шалунов А.С., Кофанов Ю.Н., Куликов О.В., Травкин Д.Н., Соловьев Д.Б., Першин О.Е.* Динамическое моделирование сложных радиоэлектронных систем // Динамика сложных систем. 2011. № 3. С. 51–59.
10. *Урютин И.С.* Интеграция подсистем АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ для моделирования механических процессов в радиоэлектронной аппаратуре // Динамика сложных систем. 2011. № 4. С. 73–78.
11. *Травкин Д.Н.* Разработка автоматизированной подсистемы для моделирования механических процессов в конструкциях БРС // Научные технологии. 2011. № 11. С. 32–37.
12. *Урютин И.С., Травкин Д.Н.* Анализ печатной платы на механические и тепловые воздействия в подсистеме АСОНИКА-ТМ // Научные технологии. 2011. № 11. С. 54–59.
13. *Малютин Н.В., Витков Б.Г., Дудко О.В., Травкин Д.Н.* Разработка радиоэлектронной аппаратуры с помощью системы АСОНИКА // Научные технологии. 2011. № 11. С. 96–102.
14. *Шалунова Н.А., Чабриков С.В., Манохин А.И., Багаева Т.И., Чинь Куок Тан* Подсистема анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций радиоэлектронных средств АСОНИКА-Т // Научные технологии. 2011. № 11. С. 44–53.
15. *Тихомиров М.В., Нгуен Динь Тхань, Ле Тхань Нам* Углубление интеграционных возможностей системы АСОНИКА при анализе надежности электронной аппаратуры // Научные технологии. 2011. № 11. С. 60–66.
16. *Беликова М.Н., Желтов Р.Л.* База данных системы АСОНИКА в архитектуре клиент-сервер и задача ее расширения для радиоэлементов и материалов при разработке электронных макетов возобновляемых источников энергии // Научные технологии. 2011. № 11. С. 67–71.
17. *Носков В.Н., Соловьев А.А.* Развитие функциональных возможностей подсистемы управления моделированием РЭС АСОНИКА-УМ // Научные технологии. 2011. № 11. С. 72–78.
18. *Волков В.А., Травкин Д.Н.* Допусковый анализ печатных плат // Динамика сложных систем. 2011. № 4. С. 62–68.
19. *Урютин И.С.* Интеграция подсистем АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ для моделирования механических процессов в радиоэлектронной аппаратуре // Динамика сложных систем. 2011. № 4. С. 73–78.

Поступила 28 февраля 2012 г.

Уважаемые читатели!

В Издательстве «Радиотехника» вышла в свет книга

Реутов А.П., Черняков М.В., Замуруев С.Н.

Автоматизированные информационные системы: методы построения и исследования

ISBN 978-5-88070-250-3

Рассмотрены принципы построения автоматизированных информационных систем, баз и банков данных и основы создания телекоммуникационных вычислительных сетей, включая всемирную информационную сеть Интернет и порталные технологии, проблемы защиты информации и пути использования интеллектуальных систем, а также приведен универсальный метод оценки эффективности автоматизированных информационных систем и дан алгоритм его использования на примере аэродрома гражданской авиации.

Для научных работников по специальностям в области техники, технологий и бизнеса, а также руководителей и сотрудников предприятий и фирм, использующих в своей профессиональной деятельности новые информационные технологии. Может быть полезна студентам, аспирантам и преподавателям вузов.

По вопросам заказа и приобретения книг обращаться по адресу:

107031 г. Москва, Кузнецкий мост, 20/6. Тел./факс: (495) 625-92-41, тел.: (495) 625-78-72, 621-48-37

<http://www.radiotec.ru>; e-mail: info@radiotec.ru

