

# МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

В. А. Платонов, Р. В. Баранов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

Одним из этапов проектирования современной электронной аппаратуры является компьютерное моделирование поведения приборов в заданных условиях эксплуатации. Достоверность результатов зависит от адекватности модели и правильности проведения этапов моделирования. Поэтому для получения достоверных результатов моделирования необходимо определенным и отработанным набор действий.

Работа посвящена созданию методики компьютерного моделирования конструкций электронных приборов. Данная методика позволяет моделировать поведение конструкций приборов в условиях механических нагрузок и получать отклик (перемещения, ускорения, АЧХ) любой точки конструкции прибора.

## 1. Разделы методики

Основными разделами методики являются:

- 1) разработка модели исследуемого прибора;
- 2) препроцессинг модели исследуемого прибора (подготовки к моделированию);
- 3) постпроцессинг (проведение анализа результатов моделирования).

## 2. Разработка модели исследуемого прибора

При разработке трехмерной модели исследуемого объекта для моделирования в системе инженерного анализа (СИА) необходимо обеспечить соответствие компонентов модели компонентам реальной конструкции по массогабаритным параметрам и прочностным характеристикам, а также максимально упростить модель для уменьшения трудозатрат на ее создание.

Первоначально определяются основные компоненты модели. Обычно это основание, крышка или кожух, печатные платы, внешние разъемы. Данные компоненты включаются в создаваемую модель. При построении моделей необходимо исключать незначительные скругления, фаски, отверстия и пр.

После определения основных компонентов определяется состав электронных блоков. Электрорадиоизделия (ЭРИ), входящие в каждый электронный блок, можно разделить на две группы:

1) ЭРИ с массой, сравнимой с массой платы. Такие ЭРИ будут оказывать влияние на форму колебаний электронного блока;

2) ЭРИ с массой, много меньшей массы платы.

Для определения ЭРИ первой группы необходимо использовать следующие критерии:

1) ЭРИ с массой

$$m_{\text{эри}} \geq \frac{m_{\text{пл}}}{10}, \quad (1)$$

где  $m_{\text{пл}}$  – масса печатной платы, кг.

2) ЭРИ, установленные в два этажа, считать сосредоточенной массой. Вычислить суммарную массу данных ЭРИ и произвести проверку на соответствие условию (1). При положительном результате сравнения создать компонент с массой и объемом, примерно равным сумме объемов выбранных ЭРИ. Данный критерий можно применить не только для установленных в два этажа ЭРИ, но и для сосредоточенных на плате ЭРИ, установленных рядом друг с другом.

ЭРИ, удовлетворяющие вышеперечисленным критериям, включить в модель исследуемого объекта в виде самостоятельных компонентов. При создании моделей ЭРИ необходимо исключать выводы и различные контакты.

Остальные ЭРИ отнести ко второй группе. В этом случае рассматриваются две ситуации. Первая ситуация: если в конструкции прибора используется пблочная заливка (пенопласт), масса ЭРИ второй группы  $m_{\text{искл.эри}}$  распределяется по массе этой заливки, то есть

$$m_{\text{зал}} = m_{\text{зал.исх}} + m_{\text{искл.эри}}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{зал}}$  – масса заливки исходная (рассчитанная либо по конструкторской документации, либо по предварительной электронной модели), кг.

Таким образом, в состав моделей электронных блоков необходимо включить компоненты заливки с объемом, установленным конструкторской документацией (КД) или соответствующим предварительной электронной модели, и массой  $m_{\text{зал}}$  или  $m_{1\text{зал}}$  и  $m_{2\text{зал}}$ .

Вторая ситуация: если в конструкции прибора используется общая заливка блоков (установленных в корпус) или заливка не используется вообще, то массу ЭРИ второй группы необходимо включить в массу печатной платы, на которую должны устанавливаться данные ЭРИ.

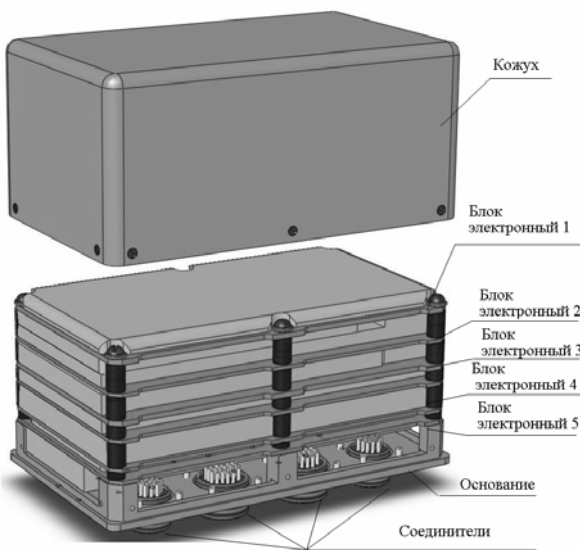


Рис. 1. Конструкция прибора

Рассмотрим пример создания модели реального прибора. Конструкция данного прибора представлена на рис. 1.

Каждый из блоков, представленных на рис. 1, имеет в своем составе различные пассивные и активные ЭРИ. В некоторых блоках ЭРИ устанавливаются в два этажа (резисторы над резисторами, резисторы над транзисторными матрицами). Блоки заливаются пенопластом ППУ-305А (на рис. 1 изображен желтым цветом) каждый отдельно, затем собираются в единую конструкцию и крепятся к основанию шестью винтами. В модель конструкции данного прибора включены следующие основные компоненты: основание, печатные платы, внешние соединители, втулки. Создание модели электронного блока рассмотрим на примере электронного блока 2. Фрагмент сборочного чертежа данного блока показан на рис. 2, созданная модель – на рис. 3.

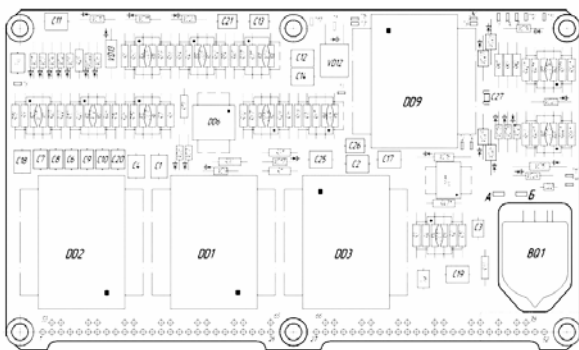


Рис. 2. Фрагмент сборочного чертежа электронного блока 2

Модель конструкции всего прибора представлена на рис. 4 (заливка показана прозрачной).

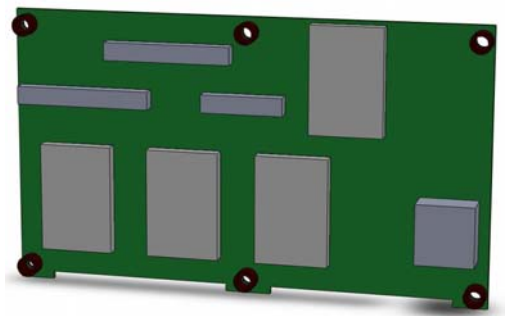


Рис. 3. Модель электронного блока 2

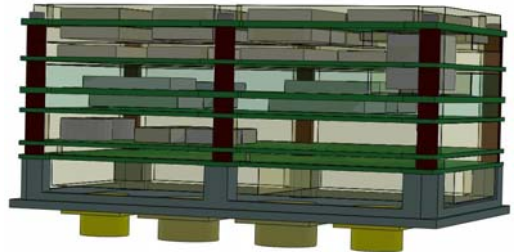


Рис. 4. Модель конструкции прибора

### 3. Препроцессинг модели

Препроцессинг модели для моделирования отклика на механические воздействия в зависимости от применяемой системы инженерного анализа (СИА) может включать следующие этапы:

- 1) импортирование созданной модели из сторонней CAD-системы;
- 2) реализация механических соединений;
- 3) создание файла материалов, из которых состоят компоненты исследуемой модели;
- 4) выбор конечно-разностных элементов для построения конечно-элементной сетки модели;
- 5) построение конечно-элементной сетки модели;
- 6) задание ограничений и нагрузок.

#### 3.1. Импортирование созданной модели

Если модель конструкции прибора создавалась в сторонней CAD-системе необходимо выполнить процесс ее импортирования в среду системы инженерного анализа. Некоторые СИА могут работать с файлами сторонних CAD-систем напрямую, а некоторые требуют преобразования в переходной формат: Parasolid (расширение \*.x\_t), ACIS (расширение \*.sat), IGES (расширение \*.igs) и т. д. В последнем случае в CAD-среде нужно сохранить созданную модель в требуемом переходном формате.

#### 3.2. Реализация механических соединений

В конструкциях электронных приборов используются паяные (ЭРИ), адгезионные (заливка) и резьбовые (корпусные детали) соединения. Реализация

соединений между компонентами в зависимости от используемой СИА производится либо автоматически на основе сопряжений, заданных в САД-системе, либо вручную операцией склеивания (булева операция). Система сама ищет сопряженные поверхности соединяемых компонентов и делает их общими, пользователю необходимо лишь указать соединяемые компоненты.

Если в СИА соединения компонентов осуществляется вручную, то соединение моделей ЭРИ, заливки и платы в единую модель электронного блока осуществлять склейкой данных моделей. Резьбовые соединения в данном случае реализуются склейкой всех компонентов, соединяемых соответствующей резьбовой деталью. В данном случае при создании модели в САД-системе винт и гайка создаются одним диаметром без резьбы. В результате склеивания у обоих компонентов соединения образуется общая поверхность, рис. 5.

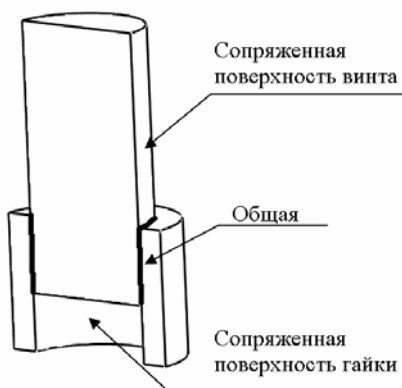


Рис. 5. Склейка крепежных элементов

### 3.3. Создание файла материалов

Для решения задач механических воздействий на исследуемую модель необходимо определить механические свойства материалов компонентов, входящих в эту модель. В различных СИА можно задавать свойства как линейно-деформируемых (упругих), так и нелинейно-деформируемых (пластичных) материалов. Обычно для решения конструкторских задач используется модель линейно деформируемого материала. Объясняется это тем, что после снятия нагрузки любая деталь должна принять свою первоначальную форму, что является залогом ее работоспособности. Характеристиками таких материалов являются модуль упругости и коэффициент Пуассона. Значения модуля упругости для компонентов модели, выполняемых из одного материала (основание, крышка, кожух, печатная плата, винт, гайка, втулка и др.) берутся из справочников для материалов. Для моделей ЭРИ, разъемов и созданных из нескольких ЭРИ компонентов модуль упругости нужно задавать равным модулю упругости материала печатной платы. Также необходимо задать плотность

материала для определения инерционных характеристик модели.

### 3.4. Выбор конечно-разностных элементов для разбиения модели

Выбор можно вести по следующим критериям:

- важность результатов расчетов для данного компонента модели;
- простота геометрической формы компонента модели.

Варианты могут быть следующими:

1) если компонент модели важен для расчетов и имеет форму объемного шестигранника, нужно выбрать конечно-разностный элемент для упорядоченного разбиения с большим количеством узлов;

2) если компонент не важен для расчетов (например, выполняет функцию концентрированной массы) и имеет простую форму (объемный шестигранник), нужно выбрать конечно-разностный для упорядоченного разбиения с малым количеством узлов;

3) если компонент имеет сложную форму (например, элемент заливки), нужно выбрать конечно-разностный для свободного разбиения, что даст и достаточно детальные результаты, и экономию машинных ресурсов.

### 3.5. Построение конечно-элементной сетки модели

Упорядоченное разбиение предназначено для построения конечно-элементной сетки на компонентах с простой геометрией, как правило, близких к четырехугольнику в двумерном случае и шестиграннику в трехмерном. Сетка получается регулярной с четко прослеживающимися рядами элементов.

Свободное разбиение предназначено для построения конечно-элементной сетки на компонентах со сложной геометрией. Сетка в результате получается неупорядоченной и может содержать элементы различной формы.

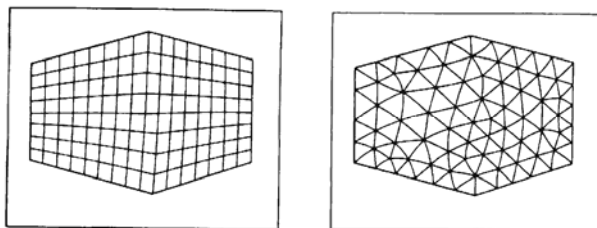


Рис. 6. Пример упорядоченного (слева) и свободного (справа) разбиений

Таким образом, для экономии трудозатрат необходимо определить компоненты с формой параллелепипеда и указать их для создания упорядоченной сетки, а для всех остальных компонентов выполнить свободное разбиение. Однако, если есть возможность, желательно использовать упорядоченное разбиение, так как оно, как правило, увеличивает точность решения.

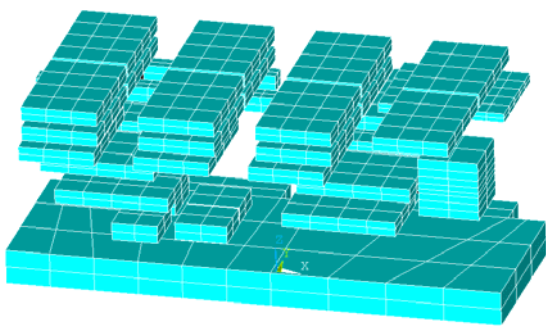


Рис. 7. Упорядоченная конечно-элементная сетка компонентов модели

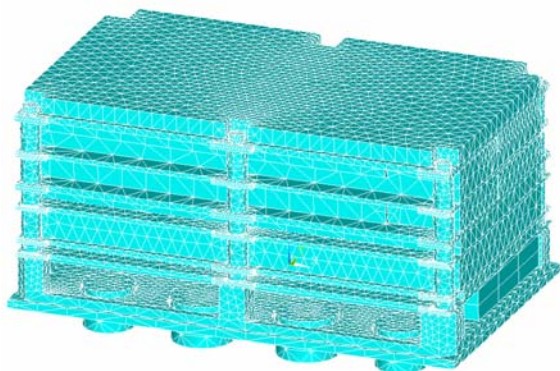


Рис. 8. Свободная конечно-элементная сетка компонентов модели

### 3.6. Задание нагрузок и ограничений

Для расчета модели на механические воздействия необходимо произвести ее закрепление, которое должно соответствовать реальному закреплению прибора в изделии. Закрепление модели в СИА реализуется заданием нулевых перемещений точек или поверхностей компонентов. Также задается направление закрепления.

В конструкциях электронных приборов используются три способа закрепления прибора:

- 1) через резьбовые отверстия в основании;
- 2) через сквозные отверстия через весь прибор;
- 3) через отверстия в приливах основания.

Таким образом, для закрепления моделей конструкций электронных приборов нужно задавать нулевые перемещения внутренних поверхностей крепежных отверстий во всех направлениях.

В качестве механической нагрузки можно задавать:

- 1) гармоническую вибрацию;
- 2) широкополосную случайную вибрацию;
- 3) ударный импульс.

Для задания параметров каждого вида нагрузки в СИА имеются специальные инструменты препроцессора. Кроме диапазона частот внешнего воздействия, формы импульса необходимо указать число шагов нагружения. Например, для диапазона от 0 до 1000 Гц с числом шагов нагружения 10 отклик конструкции будет найден для частот 100, 200,

300...1000 Гц. Первоначально рекомендуется задавать не менее 10 шагов нагружения. В дальнейшем можно провести более детальный расчет в окорезонансной области частот.

Для задания амплитуды ускорения вибрации необходимо использовать инструмент «гравитация». Направление ускорения – по продольной оси прибора (обычно ось Z).

## 4. Постпроцессинг

Для просмотра результатов моделирования в любом СИА имеется общий постпроцессор, в некоторых также есть постпроцессор процесса нагружения.

Общий постпроцессор позволяет исследовать перемещения, напряжения и другие результаты анализа модели. Постпроцессор процесса нагружения позволяет получить временную зависимость результатов расчета.

Основной целью расчета модели исследуемого объекта на воздействие механических факторов является получение амплитудно-частотных характеристик определенных точек модели. Данные точки, как правило, выбираются в местах установки компонентов модели, критических к данному виду нагружения. Чтобы визуализировать АЧХ выбранной точки (узла) модели, необходимо:

- войти в постпроцессор;
- выбрать узел модели, для которого необходимо получить АЧХ. Это можно сделать либо указанием на модели, либо ввести номер узла;
- задать направление, по которому осуществлялось приложение внешнего воздействия.

После выполнения вышеуказанных действий выводится АЧХ заданного узла модели, по которой можно определить критическую частоту и соответствующую ей максимальную амплитуду колебаний (перемещения или ускорения).

С помощью общего постпроцессора можно визуализировать форму колебания модели, определить напряжения, возникающие в выбранной точке, на критической частоте. По полученным результатам анализа можно сделать вывод либо о правильности принятых технических решений в отношении исследуемой конструкции, либо об ее дальнейшей оптимизации в случае возникновения недопустимых нагрузок на критические компоненты.

## Литература

1. Норри Д., Ж. де Фриз. Введение в метод конечных элементов: Пер. с англ. М.: Мир, 1981.
2. Карпушин В. Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. М.: Советское радио, 1971.
3. Конструирование ячеек радиоэлектронной аппаратуры: Метод. указания к лаб. работам / Сост.: Л. Н. Панков, Т. Н. Фролова. Владимир, Владим. политехн. ин-т; 1993.