

УДК 629.7.054.847

А.А. ЯЦУК, А.Б. БОВСУНОВСКИЙ*, А.А. ХВАЛЬКО***

ОСОБЕННОСТИ ЗАДАНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЛОКАЛЬНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВОЙ РАДИОАППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ¹

Описана процедура двухуровневого механического анализа бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов. Рассмотрены различные варианты переноса граничных условий из глобального анализа прибора в локальный анализ радиоэлемента. Показано, что наибольшую точность вычислений обеспечивает выбор интерфейсных узлов по контуру локальной модельной платы.

Ключевые слова: двухуровневый механический анализ, бортовая радиоаппаратура, метод конечных элементов.

Проведение механического анализа (МА) бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов сопряжено с необходимостью исследования поведения разномасштабных моделей (несущей конструкции, многослойных печатных плат, радиоэлементов). В том случае, когда решение задачи производится методом конечных элементов, сочетание разномасштабных моделей в одном расчетном задании приводит к неприемлемо большим затратам вычислительных ресурсов и времени. Одним из путей преодоления данной проблемы является разделение решения на два этапа: глобальный и локальный анализ.

На этапе глобального анализа рассчитываются основные нагрузочные характеристики прибора. При этом используются упрощенные конечно-элементные модели (КЭМ) радиоэлементов, дающие значительный выигрыш по времени счета и имеющие приемлемую точность результата. На этапе локального анализа исследуется поведение единичного радиоэлемента в условиях эквивалентных нагрузок и деформаций, полученных из глобального МА. При этом используются подробные модели радиоэлементов и проводится проверка их надежности с использованием заданных критериев разрушения. Таким образом, процедура прочностного исследования конструкции прибора сводится к последовательному выполнению следующих шагов:

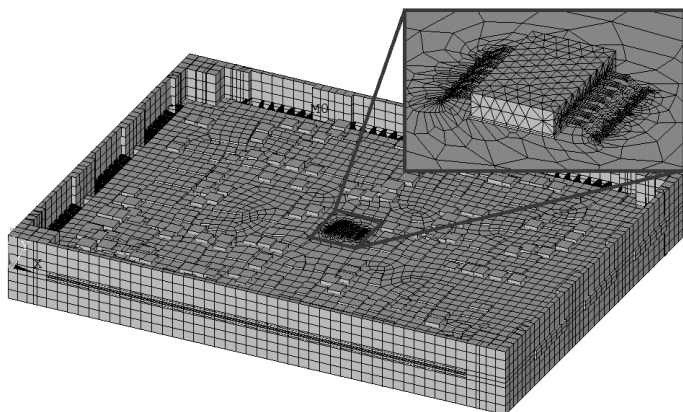
- 1) построение глобальной КЭМ прибора и проведение глобального МА;
- 2) построение подробной локальной КЭМ интересующего радиоэлемента;
- 3) выделение интерфейсных узлов локальной КЭМ, для которых будет определяться уровень нагрузок из глобального МА;
- 4) интерполяция результатов глобального МА на выбранные интерфейсные узлы локальной КЭМ;
- 5) проведение МА локальной КЭМ;
- 6) повторение шагов 1–5 для каждого исследуемого радиоэлемента.

Для определения оптимального способа задания граничных условий локального МА было проведено специальное сравнительное исследование. В качестве исходных данных были использованы результаты глобального МА типового электронного модуля. В рамках сравнительного исследования рассматривались несколько вариантов выбора интерфейсных узлов для переноса граничных условий:

- только граничные узлы модельной платы;
- все узлы модельной платы;
- только узлы контакта радиоэлемента с платой.

Для локального МА была взята полная КЭМ типового радиоэлемента, закрепленная на участке платы размером 30×30 мм. Эталонный расчет проводился с использованием идентичной полной КЭМ радиоэлемента, которая встраивалась непосредственно в центральную часть глобальной модели (рис. 1). Таким образом, для эталонной модели какого-либо переноса граничных условий не требовалось.

¹ Работа выполняется в порядке реализации Постановления Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г. и договора № 13.G25.31.0017 от 07.09.2010 г. между ОАО «ИСС» им. акад. М.Ф. Решетнева» и Минобрнауки РФ.



В качестве механической нагрузки в глобальном и локальном МА была выбрана синусоидальная вибрация в диапазоне частот 5–100 Гц с максимальной амплитудой

Рис. 1. Модель электронного модуля со встроенной эталонной КЭМ радиоэлемента

дой воздействия 25g вдоль нормали к плоскости крепления радиоэлемента. На рис. 2 приводятся результаты расчетов максимальных напряжений в зависимости от частоты вибраций.

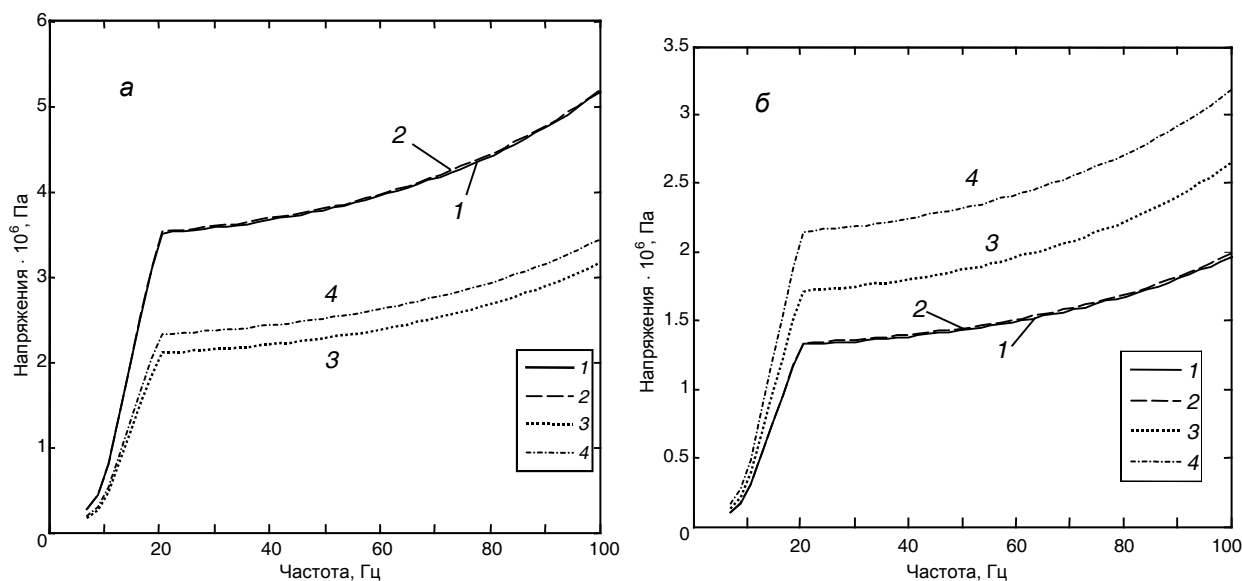


Рис. 2. Напряжения по Мизесу в припое (а) и медных выводах (б) локальной модели: кр. 1 – эталонный расчет; кр. 2 – интерфейсные узлы на границе платы; кр. 3 – интерфейсные узлы по всей поверхности платы; кр. 4 – интерфейсные узлы в области контакта ЭРИ с платой

Результаты расчетов показывают, что наилучшее совпадение с эталонным графиком дает локальный анализ с интерфейсными узлами по краям модельной платы (расхождение с эталонным расчетом на уровне 0,3 %). Другие варианты приводят к значительным ошибкам в определении итоговых механических напряжений. Данный факт объясняется тем, что размеры элементов расчетных сеток глобального и локального МА в области непосредственного крепления радиоэлемента сильно отличаются. Это приводит к неизбежному возникновению ошибок усреднения при интерполяции результатов глобального МА с более грубого разбиения на мелкую расчетную сетку. Влияние этих ошибок на деформационную картину в зоне непосредственного крепления радиоэлемента тем меньше, чем дальше их источник от рассматриваемой зоны локальной модели.

*НИИ прикладной математики и механики Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск, Россия Поступила в редакцию 10.07.12.

*ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнёва, г. Железногорск, Россия

**ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева», г. Железногорск, Россия
E-mail: rainbow@niipmm.tsu.ru, alexander.bovsunovsky@niipmm.tsu.ru, hvalko@iss-reshetnev.ru

Ящук Алексей Александрович, к.ф.-м.н., с.н.с.;

Бовсуновский Александр Борисович, н.с.;

Хвалько Александр Александрович, к.ф.-м.н., инженер-конструктор.