ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
Т. 55, № 7/2 ФИЗИКА 2012

УДК 629.7.054.847

А.Б. БОВСУНОВСКИЙ, В.Г. БУТОВ*, А.А. ХВАЛЬКО***

КОМБИНИРОВАННАЯ СХЕМА ЭФФЕКТИВНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА БОРТОВОЙ РАДИОАППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ[1]

Рассмотрена эффективная схема проведения механического анализа бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов на основе комбинирования моделей различной степени упрощения. Указаны основные принципы выбора упрощенных моделей, рассмотрен процесс построения комбинированной конечно-элементной модели на примере типового электронного модуля. Используется оболочечная модель несущей конструкции, модель многослойного ламината для монтажных плат и центральной пластины, а также плоские и массовые модели радиоэлементов. Приведены результаты тестового расчета и параметры мощности вычислительного комплекса.

Ключевые слова: *механический анализ, бортовая радиоаппаратура, метод конечных элементов, программный комплекс.*

Конкурентоспособность отечественных изделий аэрокосмической отрасли в значительной мере определяется эффективностью технологии проектирования. Особое место в процессе проектирования занимает механический анализ (МА) бортовой радиоаппаратуры, его техника, методика и инструментарий. В большинстве случаев моделирование механических нагрузок приборов проводят с использованием систем инженерного анализа (CAD/CAE-систем) на основе метода конечных элементов (МКЭ). При этом задача моделирования прибора с учетом его несущей конструкции, монтажных плат и радиоэлементов требует незаурядных вычислительных ресурсов и затрат времени.

Для повышения эффективности МА (ускорения расчета с сохранением приемлемой точности результата) может быть использован метод комбинирования моделей различной степени упрощения. Использование базы данных конечно-элементных моделей для типовых радиоэлементов [1] в сочетании со средствами автоматизации настройки расчетного задания [2] делает возможным проведение МА бортовой радиоаппаратуры даже на рабочих станциях средней вычислительной мощности.

Рассмотрим процесс построения комбинированной конечно-элементной модели на примере типового электронного модуля (рис. 1).

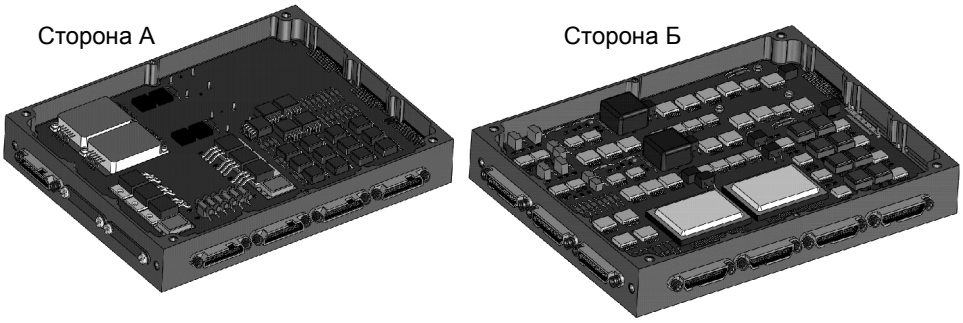

Рис. 1. Типовой электронный модуль бортовой радиоаппаратуры

Для несущей конструкции модуля и печатных плат допустимо упрощение в виде пластин, причем монтажные платы и центральную пластину уместно объединить в единый многослойный ламинат. Таким образом, предельно сокращается количество элементов в модели и сохраняется возможность отслеживания напряжений в отдельных слоях (металл, текстолит, клей).

При выборе степени упрощения радиоэлементов следует руководствоваться изложенными далее принципами.

1) Безвыводные элементы (резисторы, конденсаторы и пр.), площадь основания которых покрывает от 1 до 10 элементов разбиения монтажной поверхности, допустимо задавать в виде мас-

[1] Работа выполнена в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ 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.

совых моделей. В этом случае масса радиоэлементы распределяется по узлам монтажной поверхности без создания дополнительных конечных элементов.

2) Радиоэлементы, площадь основания которых покрывает более 10 элементов разбиения монтажной поверхности, необходимо задавать в виде пластин из однородного материала, соответствующего корпусу этого радиоэлемента (пластик, керамика и пр.).

3) Радиоэлементы, для которых требуется особенно тщательный анализ, допустимо задавать в виде полных подробных моделей с собственным сеточным разбиением посадочного места.

На рис. 2 показан пример комбинированной конечно-элементной модели электронного модуля. Часть моделей скрыта для удобства восприятия. Модели, заданные в виде пластин, имеют четкий контур основания и определенную толщину материала. Модели, заданные в виде распределенной массы, не имеют единообразной формы и собственной толщины. Область мелкого сеточного разбиения (выделена черным цветом) является посадочным местом для встраивания полной подробной модели радиодетали.

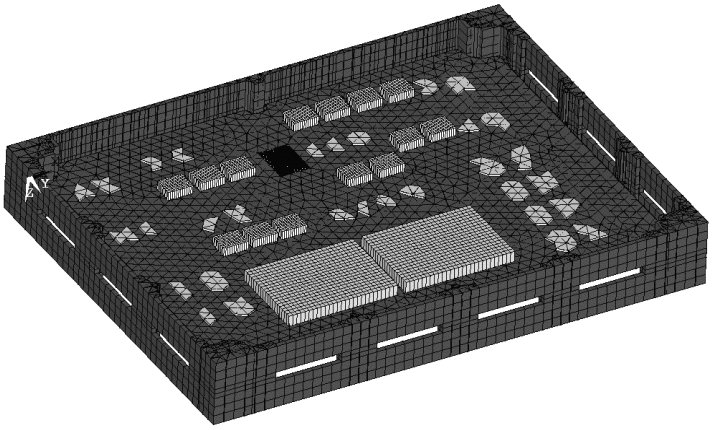

Рис. 2. Пример комбинированной конечно-элементной модели (сторона Б)

Для проведения тестовых расчетов была использована рабочая станция на базе 4-ядерного процессора с частотой 3 ГГц, 8Гб ОЗУ и 500 Гб свободного пространства на жестком диске. Построение модели и расчет воздействия статической нагрузки по нормали к центральной пластине электронного модуля занял порядка 10 мин.

Результаты МА позволяют, в частности, определить картины механических напряжений в клеевом слое между монтажными платами и металлической пластиной, а также в корпусах радиоизделий. На рис. 3 и 4 приведены результаты расчета статического нагружения с ускорением 25g по нормали к центральной пластине электронного модуля.

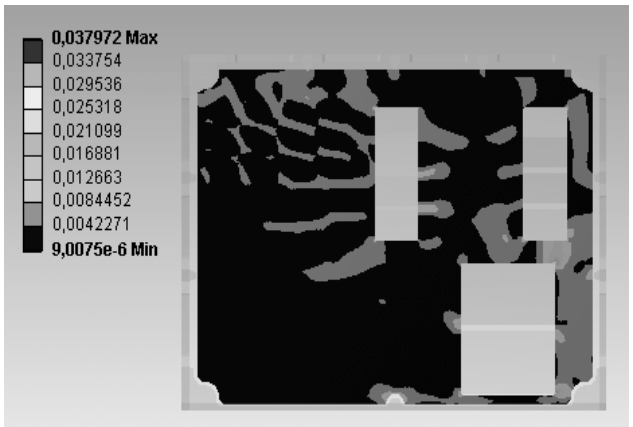

Рис. 3. Напряжения в клеевом слое между платой и теплоотводящей пластиной (сторона А), МПа

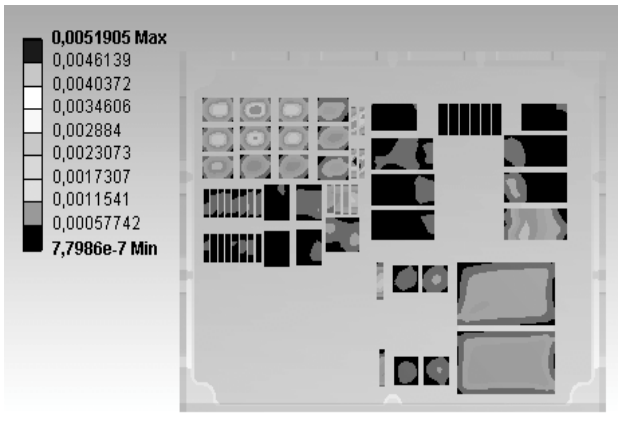

Рис. 4. Напряжения в корпусах радиоэлементов (сторона А), МПа

Следующим этапом МА электронного модуля является определение необходимости проведения более тщательного анализа радиоэлементов на основе их полных моделей. Соответствующее

решение может быть принято в том случае, если запас прочности по напряжению в материале корпуса или монтажном материале (клей, припой) составляет менее 10 %. В качестве запаса прочности используется следующая величина:

$$K = (S - S_{кр})/S_{кр} \cdot 100\ \%,$$

где S – расчетное напряжение в материале; $S_{кр}$ – критическое напряжение (предел прочности или текучести материала).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бовсуновский А.Б., Ящук А.А., Хвалько А.А. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2011. – № 4. – С. 29–33.
2. Бовсуновский А.Б., Ящук А.А. // Решетневские чтения: материалы XV Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2011.– Ч. 2. – С. 437–438.

*НИИ прикладной математики и механики Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск, Россия
**ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева», г. Железногорск, Россия
E-mail: alexander.bovsunovsky@niipmm.tsu.ru, bvg@niipmm.tsu.ru, hvalko@iss-reshetnev.ru

Поступила в редакцию 10.07.12.

Бовсуновский Александр Борисович, н.с.;
Бутов Владимир Григорьевич, д.ф.-м.н., зав. отделом;
Хвалько Александр Александрович, к.ф.-м.н., инженер-конструктор.