

УДК 621.396.6

В.П. Алексеев, В.М. Карабан, С.В. Пономарев, С.Б. Сунцов

## Численное моделирование напряженно-деформированных состояний модуля из низкотемпературной совместно-обжигаемой керамики вследствие тепловых режимов работы бортовой радиоэлектронной аппаратуры. Часть 1. Постановка задачи. Подготовка к моделированию

Разрабатываемая в ходе выполнения данной работы методика численного моделирования напряженно-деформированных состояний, возникающих в результате воздействия температурных нагрузок, предназначена для обеспечения достоверного прогноза долговечности материалов конструкции модуля из низкотемпературной совместно обжигаемой керамики на ранних этапах его создания.

**Ключевые слова:** численное моделирование, тепловые режимы, напряженно-деформированные состояния, модуль из низкотемпературной керамики, ANSYS workbench, бортовая радиоэлектронная аппаратура.

### 1. Постановка задачи

Существующая статистическая теория надёжности позволяет прогнозировать основные параметры надёжности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на основе результатов сбора сведений об отказах в различных системах в ходе эксплуатации. При проектировании новых устройств прогнозирование надёжности при использовании новых конструктивных решений и новой элементной базы требует новых данных об интенсивности отказов, которые могут быть получены только по результатам эксплуатации новых систем. Вместе с тем отказы являются результатом физико-технологических дефектов в конструкциях РЭА, прогнозировать которые можно только на основе анализа процессов при изготовлении и функционировании конкретных изделий в конкретных условиях производства и эксплуатации. При работе указанных устройств в широком температурном диапазоне с циклическими воздействиями (солнечная сторона и теневая сторона) вследствие разности температурных коэффициентов линейного и объёмного расширения различных конструктивных элементов из различных материалов возникают напряжённо-деформируемые состояния, приводящие к усталостным изменениям в таких элементах, как проводники, паяные и клеёные соединения, полупроводниковые чипы, платы и подложки. Именно они приводят к механическим и электрическим разрушениям и отказам после определённого времени работы.

Нами предлагается методика анализа напряжённо-деформируемых состояний в перспективных модулях космической РЭА на основе многослойной низкотемпературной керамики с использованием пакета прикладных программ ANSYS workbench. В ходе моделирования составляется геометрическая модель конкретного устройства, на основе которой определяется количество рабочих циклов, необходимых для накопления усталостных напряжений и механического разрушения элементов конструкции. Полученные данные позволяют сделать вывод о долговечности анализируемой конструкции и синтезировать конструктивные решения, соответствующие требованиям технического задания. Основной проблемой в достижении изложенной выше цели являются достоверные данные о теплофизических и механико-физических характеристиках материалов, применяемых в исследуемых конструкциях.

В ходе исследований нами использованы как данные из информационных источников, так и результаты собственных экспериментальных исследований. При составлении геометрической модели были введены допущения, позволяющие существенно упростить процедуру последующих расчётов.

### 2. Подготовка модели к проведению расчетов

После создания геометрической модели модуля из низкотемпературной совместно-обжигаемой керамики (НТК) необходимым явилось проведение комплексного анализа направленного на поиск путей упрощения реализованной трехмерной геометрической модели для последующего сокращения конечно-элементной модели и, соответственно, затрат на проведение численных расчетов. На рис. 1 приведена геометрическая модель модуля из НТК.

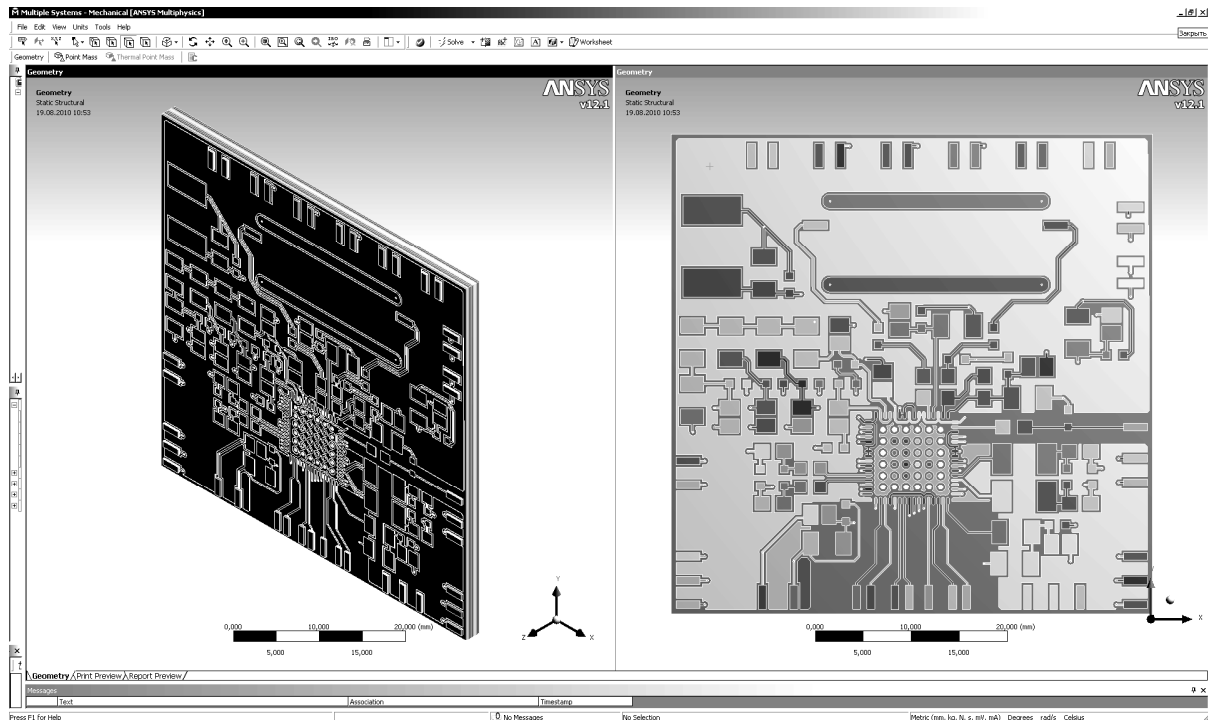


Рис. 1. Геометрическая модель модуля КП НТК, насчитывающая более 20 спеченных слоев керамика–металл

Определено, что одним из путей по упрощению трехмерной геометрической модели является использование оболочечных элементов (Mid-Surface) для следующих тел геометрической конструкции модуля: поверхностные и межслойные проводники и контактные площадки, межслойные экраны.

Еще одним путем в направлении минимизации расчетных ресурсов является применение элементов управления конечно-элементной сеткой Mesh Control > Sizing.

Пример результатов применения элемента управления размерностью расчетной сетки приведен на рис. 2.

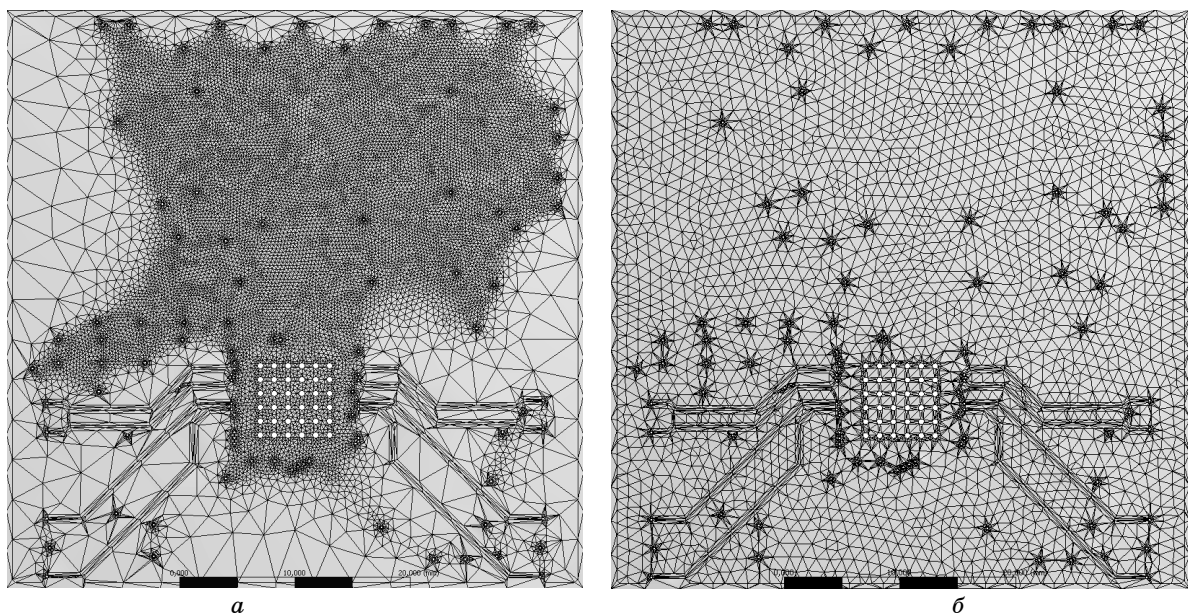


Рис. 2. Пример построения конечно-элементной расчетной сетки: *а* – без применения элементов управления сеткой и *б* – с их применением

Подобная операция позволила сократить количество узлов (элементов) сетки для представленного слоя (рис. 2) с 665698 (356380) до 56122 (27816), т.е. в 11,86 (12,8) раза.

При реализации алгоритма расчёта выявились недостатки в геометрической модели, связанные со сложностью первоначальной геометрической модели. На рис. 3 приведен пример подобного случая, когда окружность геометрической модели представлена набором ломаных поверхностей.

Для исправления вышеуказанного недостатка геометрии (рис. 3) пользуются понятием виртуальной топологии (Virtual Topology), в частности виртуальной ячейки (Virtual Cell), которая упрощает геометрию и сводит ряд поверхностей к единой поверхности.

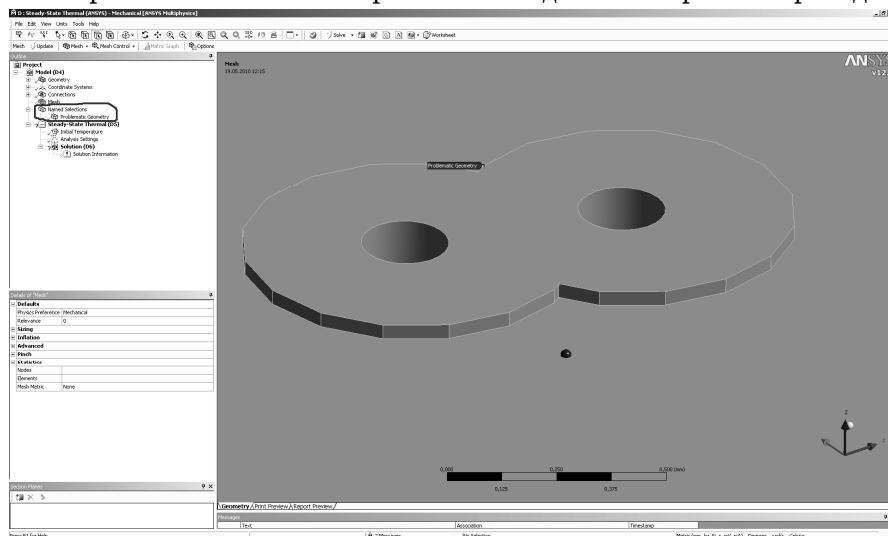


Рис. 3. Элемент проблемной геометрии

**Заключение.** Рассмотрены вопросы подготовки геометрической и расчетной моделей к проведению оценочного анализа долговечности конструкции модуля из низкотемпературной совместно обжигаемой керамики на основе результатов численных расчетов напряженно-деформированных состояний вследствие тепловых режимов работы бортовой радиоэлектронной аппаратуры.

Принятые меры позволяют сократить ресурсоемкость задачи при проведении расчетов в пределах требуемой точности.

Работа выполнена в порядке реализации постановления № 218 Правительства РФ и договора № 2148 от 05.07.2010 г. ТГУ с ОАО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнева.

**Алексеев Валерий Павлович**

Канд. техн. наук, доцент каф. конструирования и производства радиоаппаратуры ТУСУРа  
Тел.: 8-913-812-2381  
Эл. почта: 106@vtomske.ru

**Карaban Вадим Михайлович**

Канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник ТУСУРа  
Тел.: 8-913-872-4521  
Эл. почта: karaban\_vm@mail.ru

**Пономарев Сергей Васильевич**

Канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. НИИ ПММ ТГУ  
Тел.: 8-903-952-8197  
Эл. почта: psv@nii pmm.tsu.ru

**Сунцов Сергей Борисович**

Начальник отдела конструирования бортовой РЭА  
ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева (г. Железногорск)  
Тел.: 8-908-020-3825  
Эл. почта: sbsun@iss-reshetnev.ru

Alekseev V.P., Karaban V.M., Ponomarev S.V., Syncov S.B.

**Numerical simulation of stress-strain states of a low temperature jointly-burning ceramics module caused by thermal modes of onboard electronic equipment. Part 1. The problem statement. Preparations for the simulation**

A technique for numerical simulation of stress-strain states, which result from the thermal loads impacts, is developed. The technique is intended for reliable forecast of durability of the low temperature jointly-burning ceramics module at early stages of its creation.

**Keywords:** numerical simulation, thermal modes, stress-strain state, low-temperature ceramics module, ANSYS workbench, onboard electronic equipment.