

Методика моделирования тепловых процессов для радиоэлектронной аппаратуры

А.А. Калганов¹, В.Г. Лисиенко², А.П. Калганова²,

¹АО «НПО автоматики», Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург

²Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург

Аннотация: В статье описана методика ресурсоёмкой (с точки зрения вычислительных ресурсов) и точной оценки теплового режима радиоэлектронной аппаратуры. Методика предполагает последовательное использование программных пакетов «ANSYS» и «АСОНИКА-ТМ» для расчёта температурного поля, возникающего при работе прибора. Результат расчёта в «ANSYS» используется как тепловое граничное условие первого рода для расчёта в «АСОНИКА-ТМ».

Ключевые слова: тепловые процессы, теплообмен, система управления, ракета-носитель, метод конечных элементов, МКЭ, АНСИС, АСОНИКА-ТМ.

Введение

Объектом моделирования выбраны бортовые радиоэлектронные приборы систем управления ракетами-носителями.

Актуальность такого выбора объекта моделирования обоснована в статье «Методика последовательного моделирования тепловых процессов для аппаратуры систем управления: перспективы исследования» и в работе В.Ф. Дремина «Защита аппаратуры от внешних воздействующих факторов» [1, 2].

Актуальность выбора метода конечных элементов в качестве основы методики обусловлена рядом факторов.

1. Метод применим к радиоэлектронной аппаратуре [3, 4].
2. Метод даёт наиболее точную математическую оценку [5, 6].
3. Метод реализован в программных пакетах и легко применим к сложным геометрическим моделям [2, 7].

С учётом вышеизложенного, а также специфики работы в используемых программных пакетах, разработана методика моделирования тепловых процессов для аппаратуры систем управления [2, 8].

Используемые термины и общее описание методики

Методика подразумевает навыки работы в «ANSYS» и «АСОНИКА-ТМ».

Модель верхнего уровня – это расчётная геометрическая 3D-модель объекта моделирования. Создаётся путём упрощения конструкторской 3D-модели до композиции из нескольких простых геометрических тел.

Модель среднего уровня представляет собой упрощённую конструкторскую модель сложной микросборки с размещёнными на платах упрощёнными моделями электрорадиоизделий (ЭРИ).

Под сложной микросборкой подразумевается ЭРИ, состоящее из внешнего корпуса и внутренней платы и нескольких ЭРИ, размещённых на ней.

Модель нижнего уровня – это подробная (проработанная до уровня ЭРИ) модель отдельно взятой печатной платы из состава объекта моделирования.

Конструкторская 3D-модель – выполненная в «SolidWorks» подробная твердотельная модель объекта моделирования.

Первая часть расчёта осуществляется с помощью программного комплекса «ANSYS» в два этапа:

– расчёт модели верхнего уровня (в качестве граничного условия первого рода использована температура воздуха вокруг прибора, которая определяется условиями эксплуатации);

– расчёт модели среднего уровня с заданием на микросборках граничных условий первого рода, полученных в результате расчёта модели верхнего уровня.

Вторая часть расчёта включает в себя расчёт каждой отдельно взятой платы из состава объекта моделирования с заданием граничных условий первого рода, полученных в результате расчёта модели верхнего уровня.

Создание и расчёт модели верхнего уровня

Необходимые исходные данные для расчёта:

- конструкторская документация на прибор;
- данные о суммарной мощности каждой из отдельно взятых плат прибора;
- конструкторская 3D-модель прибора;
- габаритно-массовые характеристики модулей прибора;
- циклограмма задействования плат.

Порядок создания геометрической модели.

Геометрия модели верхнего уровня создаётся в пакете прикладного моделирования «SolidWorks» путём упрощения конструкторской модели прибора до композиции из нескольких простейших геометрических тел:

- платы и стенки корпуса упрощаются до твердотельных сплошных плоскостей с геометрическими размерами, равными размерам плат и стенок моделируемого прибора;
- микросборки сложной конструкции упрощаются до сплошных параллелепипедов с геометрическими размерами, равными размерам корпуса микросборки сложной конструкции;
- стенки, платы и сложные микросборки после упрощения объединяются в общую модель полностью соответствующую реальному прибору;
- полученная объединённая модель помещается в середину сплошного параллелепипеда (при задании физических свойств на этапе формирования расчётной конечно-элементной модели указанному параллелепипеду задаются физические свойства воздуха), линейные размеры которого в два раза превышают линейные размеры прибора.

Порядок создания расчётной (конечно-элементной) модели.

После построения упрощённой геометрической модели данная модель при использовании соответствующей надстройки «SolidWorks» конвертируется в программный комплекс «ANSYS» с последующим преобразованием в конечно-элементную модель [9, 10].

При задании физических характеристик используется допущение – теплоёмкость и коэффициент теплопроводности отдельных плат заданы среднemasсовыми из следующего расчёта: 70% массы платы – стеклотекстолит, 30% массы платы – алюминий.

Также задаются следующие физические характеристики:

- температура окружающего прибор воздуха;
- начальные температуры всех составных частей прибора, равные температуре окружающего прибор воздуха;
- суммарные тепловые мощности для каждой платы, за исключением микросборок (заданы суммарные мощности для каждой сложной микросборки);
- термические сопротивления между элементами конструкции, рассеивающими тепловую энергию, и другими элементами конструкции (между платой и стенкой прибора) заданы соответствующими реальному объекту (вычислены исходя из конструкторской документации);
- шаг интегрирования, длительность непрерывной работы прибора;
- в расчётной модели задаётся направление ускорения свободного падения в соответствии со штатным размещением прибора.

Дальнейший расчёт проведён при использовании модуля «Fluent» из состава «ANSYS» [11, 12].

Результатом расчёта служат среднemasсовые температуры каждой отдельно взятой платы.

Создание и расчёт модели среднего уровня

Необходимые исходные данные для расчёта:

- конструкторская документация на микросборки;
- данные о мощностях ЭРИ, входящих в состав микросборок;
- габаритно-массовые характеристики ЭРИ из состава микросборок;
- 3D-модели ЭРИ модуля преобразования напряжения;
- максимальная допустимая температура на корпусе микросборки;
- циклограмма задействования ЭРИ из состава микросборки.

Порядок создания геометрической модели

Геометрия модели среднего уровня создаётся в пакете прикладного моделирования «SolidWorks» и должна полностью соответствовать объекту моделирования (вплоть до ЭРИ).

Порядок создания расчётной (конечно-элементной) модели.

Порядок создания расчётной модели идентичен используемому при создании модели верхнего уровня, за исключением начального и граничного тепловых условий (равны температуре, полученной для соответствующей платы в расчёте модели верхнего уровня).

Результатом расчёта служат температурное поле, распределённое по модели, а также температуры ЭРИ, входящих в состав модели.

Создание и расчёт моделей нижнего уровня

Необходимые исходные данные для расчёта:

- геометрические размеры платы;
 - теплофизические характеристики материала платы;
 - данные о размещении ЭРИ на моделируемой плате;
 - начальное и граничное тепловые условия (равны температуре полученной для соответствующей платы в расчёте модели верхнего уровня)
 - данные о рассеиваемых мощностях каждого из ЭРИ;
-

- геометрические характеристики ЭРИ;
- теплофизические характеристики ЭРИ;
- данные о максимальных допустимых температурах на корпусах ЭРИ.

База данных «АСОНИКА-ТМ» позволяет задавать большую часть из применяемых в отрасли ЭРИ с известными максимальными допустимыми температурами, геометрическими и теплофизическими характеристиками.

Порядок создания расчётной модели.

Расчётная модель создаётся путём задания модели печатной платы конечного размера, последовательного размещения моделей ЭРИ на модели платы, задания геометрических характеристик ЭРИ, задания свойств материала платы, задания тепловых связей между узлами модели и окружающей средой и задания реактивных мощностей ЭРИ.

Результатом расчёта служат температуры ЭРИ, входящих в состав модели.

Заключение

Подтверждение точности расчётов планируется проводить путём проведения экспериментов с прибором, для которого выполняется аналитическая оценка по описанной методике.

Исследование актуально для отрасли в рамках создания радиоэлектронной аппаратуры, т.к. результаты приведут к значительному сокращению времени и финансовых затрат на наземную экспериментальную отработку путём замены части экспериментов на точную аналитическую оценку.

Литература

1. Калганов А.А., Лисиенко В.Г., Калганова А.П. Методика последовательного моделирования тепловых процессов для аппаратуры систем управления: перспективы исследования // Инженерный вестник Дона, 2020, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6407.



2. Дремин В.Ф. Защита аппаратуры от внешних воздействующих факторов. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 176 с.
3. Смирнов Р.Ф., Бахвалов Ю.А. Математическое моделирование теплообменных процессов в энергосберегающих гелиоустановках // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1782.
4. Жуковский В.С. Основы теории теплопередачи. Ленинград: Энергия, 1969. 224 с.
5. Коздоба Л.А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. Москва: Наука, 1975. 226 с.
6. Фокин В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твёрдого тела. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. 131 с.
7. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. 271 с.
8. Чигарев А.В. ANSYS для инженеров. Москва: Машиностроение, 2004. 513 с.
9. ANSYS verification manual - ANSYS, inc.: Southpoint 275 Technology Drive Canonsburs, PA, 2004. 660 p.
10. ANSYS CFX, Release 10.0: Installation and Overview - ANSYS, inc.: Southpoint 275 Technology Drive Canonsburs, PA, 2005. 2602 p.
11. Bencheikh I., Bilteryst F., Nouari M. [et al.]. Finite Elements in Analysis and Design. 2017. №134. pp. 68-81.
12. Dialami, N., Chiumenti M., Cervera M. [et al.]. Comput. Methods. 2017. №1. pp. 189-225.

References

1. Kalganov A.A., Lisienko V.G., Kalganova A.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6407.

2. Dremin V.F. Zashhita apparatury` ot vneshnix vozdeystvuyushhix faktorov [Protection of equipment from external factors]. Ekaterinburg: UrFU, 2011. 176 p.
3. Smirnov R.F., Baxvalov Yu.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1782.
4. Zhukovskij V.S. Osnovy` teorii teploperedachi [Fundamentals of the theory of heat transfer]. Leningrad: E`nergiya, 1969. 224 p.
5. Kozdoba L.A.. Metody` resheniya nelinejny`x zadach teplovprovodnosti [Methods for solving nonlinear problems of thermal conductivity]. Moskva: Nauka, 1975. 226 p.
6. Fokin V.G. Metod konechny`x e`lementov v mexanike deformiruemogo tvyordogo tela [The finite element Method in the mechanics of a deformable solid]. Samara: Samar. gos. texn. un-t, 2010. 131 p.
7. Bruyaka V.A.. Inzhenerny`j analiz v ANSYS Workbench [Engineering analysis in ANSYS Workbench]. Samara: Samar. gos. texn. un-t, 2010. 271 p.
8. Chigarev A.V. ANSYS dlya inzhenerov [ANSYS for engineers]. Moskva: Mashinostroenie, 2004. 513 p.
9. ANSYS verification manual. ANSYS, inc.: Southpoint 275 Technology Drive Canonsburs, PA, 2004. 660 p.
10. ANSYS CFX, Release 10.0: Installation and Overview - ANSYS, inc.: Southpoint 275 Technology Drive Canonsburs, PA, 2005. 2602 p.
11. Bencheikh I., Bilteryst F., Nouari M. [et al.]. Finite Elements in Analysis and Design. 2017. №134. pp. 68-81.
12. Dialami, N., Chiumenti M., Cervera M. [et al.]. Comput. Methods. 2017. №1. pp. 189-225.