



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн. 2019, № 1, с. 78-84.

Поступила: 06.05.2019

Окончательный вариант: 03.06.2019

© УлГУ

УДК 004.942

Повышение эффективности процесса охлаждения блока электронных плат авиаприбора на основе расчёта его стационарного температурного поля

Рубцов М. А.^{1,*}

[*mihanr1995@mail.ru](mailto:mihanr1995@mail.ru)

¹УлГУ, Ульяновск, Россия

Рассматривается процесс расчёта и оценки стационарного температурного поля блока печатных плат и способы повышения эффективности охлаждения блока за счёт различных конструктивных изменений с использованием программного продукта ANSYS Icerak.

Ключевые слова: блок печатных плат, печатная плата, стационарное температурное поле, охлаждение электроники.

Введение

Основными составляющими элементами радиоэлектронной аппаратуры, обслуживающей воздушное судно являются печатные платы, объединённые в блоки. Именно в печатных платах заключены алгоритмы управления летательным аппаратом и обработки сигналов с различных датчиков, которые позволяют пилоту оценить состояние воздушного судна и его ориентацию в пространстве в процессе эксплуатации. Поэтому для предотвращения нештатных ситуаций связанных с поломкой радиоэлектронного оборудования, необходимо предварительно оценить состояние блоков печатных плат с помощью САЕ систем. Оценка температурного поля блока и воздушных потоков в его корпусе является одним из важнейших этапов разработки и модернизации изделия, так как воздействие высоких температур на радиоэлементы является одной из основных причин неисправностей электронных компонентов и ухудшения их технических характеристик. Поэтому важно

оценить температурное поле блока печатных плат и обеспечить эффективное его охлаждение.

1. Математическая модель тепловых расчётов

В основе тепловых расчётов лежат математические законы, описывающие тепловые процессы. Основными уравнениями для описания тепловых процессов являются уравнение теплопроводности (1) и уравнение Навье-Стокса (2) для описания конвекции.

$$\frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \Delta u = f(r, t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\vec{v} \cdot (\nabla \vec{v}) + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f} \quad (2)$$

Кроме того, в реализации расчёта участвуют другие модели - модель идеального газа, а также модели, описывающие турбулентность (например, уравнения Рейнольдса). Для того, чтобы найти частные решения данных уравнений, необходимо иметь дополнительные данные. Этими данными являются граничные и начальные условия, которые в совокупности с геометрией исследуемого тела и физическими свойствами материалов называются краевыми условиями. В случае стационарного температурного поля начальные условия не задаются.

Граничные условия для стационарной задачи будут задаваться распределением температур на границе, в нашем случае температура будет постоянной по всей границе области расчёта.

2. Концепция метода конечных элементов (МКЭ) - численного метода решения задач теплопроводности

Основная идея метода конечных элементов заключается в том, что любую непрерывную величину, такую, как температура, давление, перемещение, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определённых на конечном числе подобластей. Кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области.

В общем случае непрерывная величина заранее неизвестна, и нужно определить значения этой величины в некоторых внутренних точках области. Для этого необходимо построить дискретную модель, предположив, что числовые значения искомой функции известны в каждой внутренней точке области. После этого можно перейти к общему случаю, в котором будем считать с переменным числовым значением функции в точках.

При построении дискретной модели поступают следующим образом:

1. В рассматриваемой области фиксируется конечное число точек, которые впоследствии называются узловыми.

2. Значения искомой непрерывной величины в каждом узле являются основными неизвестными.

3. Область определения непрерывной величины разбивается на конечное число подобластей, называемых элементами, которые имеют общие узловые точки и в совокупности аппроксимируют форму исследуемой области.

4. Непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе полиномом, который определяется с помощью узловых значений этой величины. Для каждого конечного элемента определяется свой полином, которые подбираются таким образом, чтобы сохранялась непрерывность величины вдоль границ элемента.

При рассмотрении общего случая распределение температуры неизвестно и нам необходимо определить значения температуры. Значения температуры в узлах определяются посредством минимизации некоторой величины, связанной с физической сущностью задачи. Для тепловых расчётов это будет минимизация функционала, связанного с соответствующим дифференциальным уравнением. Процесс минимизации сводится к решению систем линейных алгебраических уравнений относительно узловых значений $T(x)$. При рассмотрении двух- или трехмерной области, методика остаётся той же, только для двумерного случая элементом будет являться треугольник либо квадрат, а для трехмерного случая тетраэдр или параллелепипед.

МКЭ реализуется в различных программных продуктах, в частности в ANSYS Icespak, в котором будет выполняться расчёт температурного поля.

3. Расчёт стационарного температурного поля в программном продукте ANSYS Icespak

Для расчёта температурного поля необходимо создать проект ANSYS Workbench, создать модуль геометрии, в который импортируется геометрия блока печатных плат, и подключить к модулю геометрии модуль ANSYS Icespak. Схема проекта показана на рис. 1.

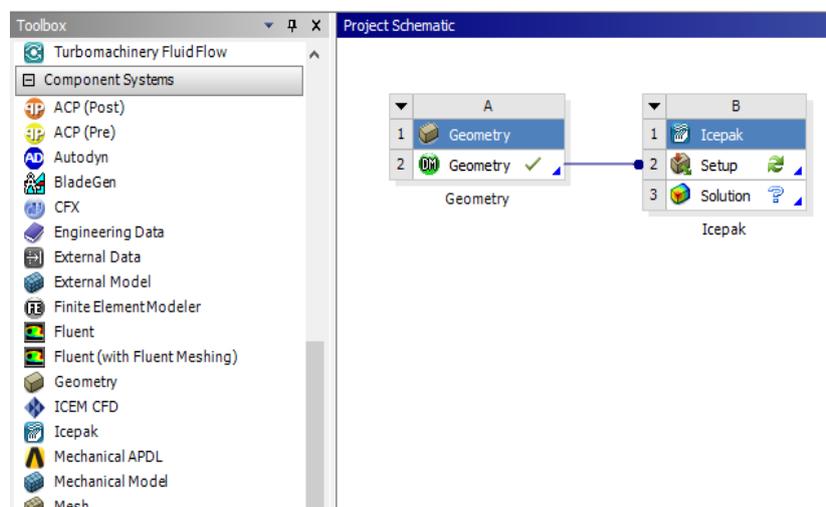
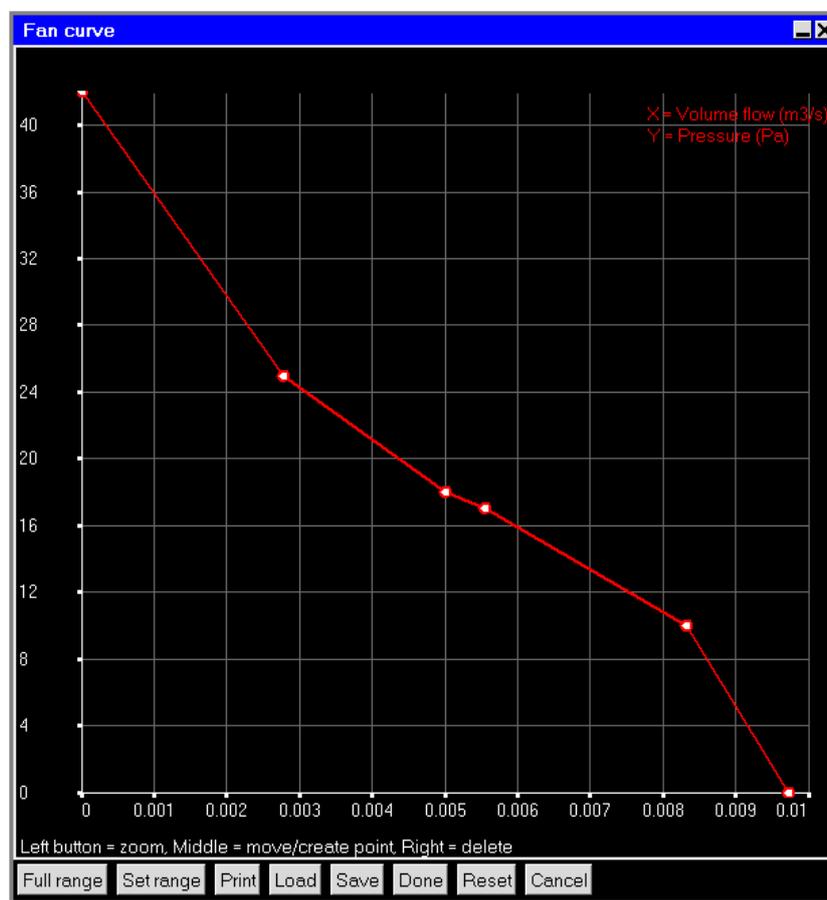


Рис. 1. Схема проекта ANSYS Workbench

Для расчёта необходимо в окне программы ANSYS Icespak задать все необходимые граничные условия для модели блока печатных плат. В частности область пространства, которое задаётся объектом «Cabinet». «Cabinet» представляет собой параллелепипед задающий область расчёта. Для каждой его грани задаётся граничная температура. В нашем случае задаётся 70°C для каждой стенки (наиболее экстремальные условия эксплуатации). Также задаётся материал для каждого элемента геометрии. Для каждого радиоэлемента необходимо задать тепловую мощность выделения. Перед построением сетки создаём объекты «fan», моделирующие поведение вентиляторов и зададим для них характеристики, указанные на рис. 2. Характеристика представляет собой зависимость создаваемого вентилятором давления воздуха и скорости потока. Внутренний и внешний диаметры вентиляторов задаются в соответствии с реально используемыми в данном блоке вентиляторами. После задания граничных условий строится конечно-элементная сетка. В нашем случае получается сетка с 30 миллионами элементов, что приемлемо для получения адекватных результатов расчёта.



Ось X – скорость потока воздуха, m^3/s , Ось Y – давление потока, Pa.

Рис. 2. Функция характеристики вентилятора

В результате получаем результат, показанный на рис.3 для одной из плат, где находится глобальный максимум температур (вентиляторы располагаются справа).

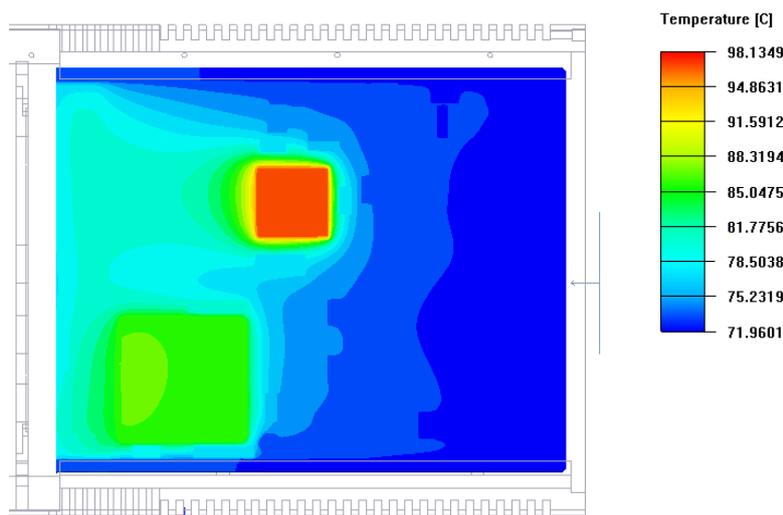


Рис. 3. Температурное поле платы блока с максимумом температур блока с использованием принудительного охлаждения (max=98 °С)

Расчёт без учета вентиляторов дает температурное поле, указанное на рис. 4.

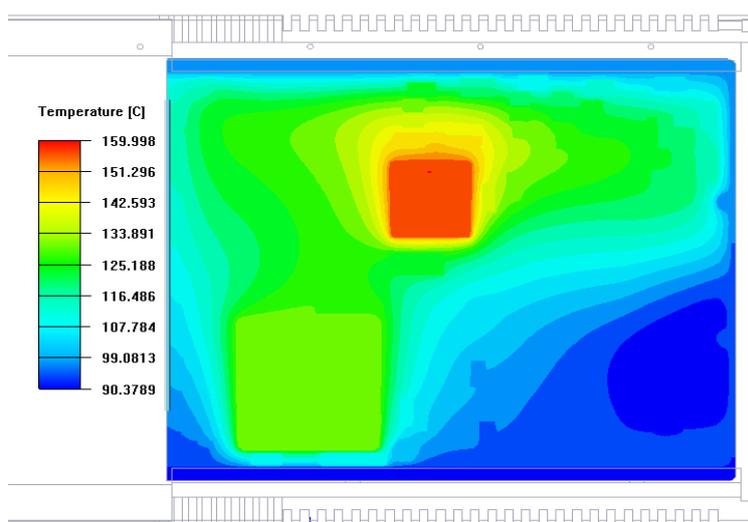


Рис. 4. Температурное поле платы блока с максимальной температурой без использования принудительного охлаждения (max=160 °С)

На основе полученного результата оцениваем снижение температуры. В данном случае вентиляция блока снижает температуру на 62 °С. Это - допустимый показатель, но при температуре 98°С данная плата не будет работать исправно продолжительное время в данных условиях окружающей среды. Чтобы повысить надёжность блока, внесём конструктивные изменения в плату.

Одним из предложенных конструкторами изменений является добавление отверстий в боковые стенки корпуса блока, что позволит улучшить циркуляцию воздуха внутри корпуса. После добавления множества мелких отверстий в стенки блока в местах, близких к

наиболее нагретым элементам платы, запустим расчёт и рассмотрим полученное температурное поле (рис. 5).

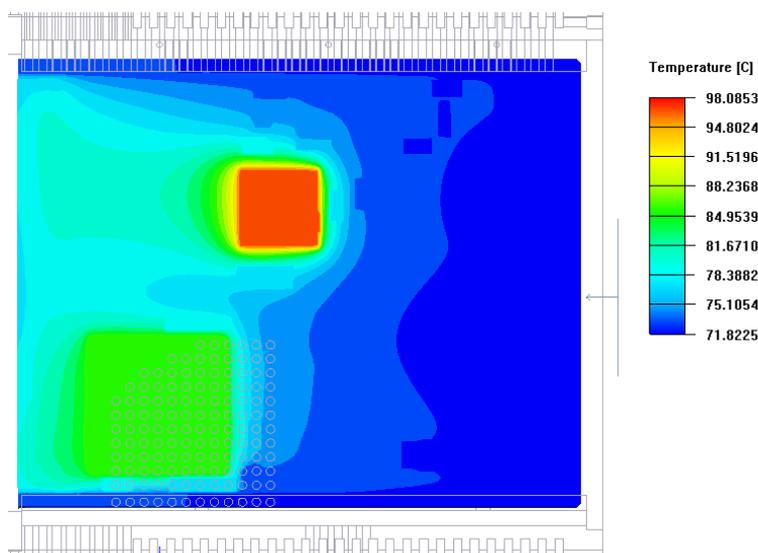


Рис. 5. Температурное поле платы блока с использованием отверстий (max=98 °С)

Использование отверстий значительно не повлияло на эффективность принудительного охлаждения, поэтому для большего теплоотвода тепла от элементов необходимо использовать радиаторы. Для радиаторов создаём геометрию и назначаем для них материал Cu-Pure (Медь). После добавления в модель рассмотрим получившееся температурное поле для платы блока, показанное на рис. 6. В итоге получаем максимальную температуру, которая ниже предельно допустимой температуры на 9 °С.

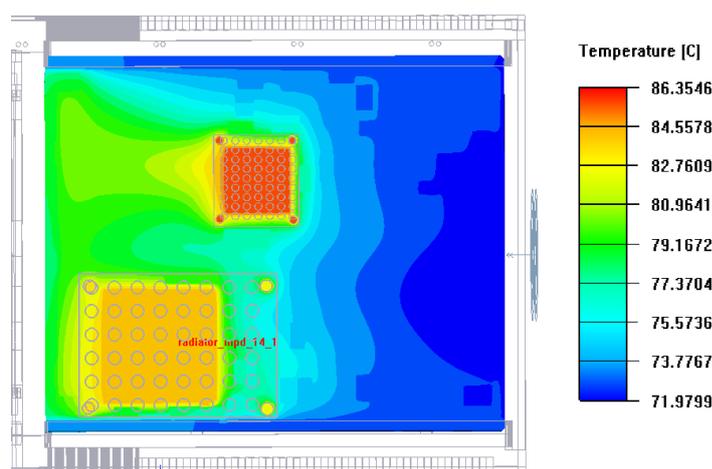


Рис. 6. Температурное поле платы блока с использованием радиаторов (max=86 °С)

В дополнение к радиаторам можно использовать элементы Пельтье, но они требуют дополнительного источника питания и имеют низкий КПД, поэтому надобность в них отпадает, в связи с достаточной эффективностью охлаждения при использовании радиато-

ров. Использование теплоотводящих трубок или жидкостного охлаждения невозможно из-за жёстко заданных габаритов блока и отсутствия достаточного свободного места в блоке для таких систем охлаждения.

Заключение

Полученные результаты позволили оценить температурное поле печатных плат блока и принять решение о необходимости изменений конструкции блока радиоэлектронной аппаратуры. Полученные температурные поля для блока позволяют выявить проблемные места в процессах теплообмена, связанные с недостаточной теплопроводностью или низкой скоростью воздушного потока, отводящего тепло от элементов плат. Оценка стационарного температурного поля исходной модели позволяет усовершенствовать конструкцию и повысить надёжность и безопасность устройства в процессе его эксплуатации.

Список литературы

1. Зенкевич О. К. *Метод конечных элементов в технике*. М.: Мир, 1975.
2. Колпак А. Охлаждение в системах высокой мощности // *Силовая электроника*. 2010, №3, с. 62-66.
3. Литвинов А.Н., Хади О. Ш., Юрков Н. К. Исследование состояния плат радиоэлектронных систем при тепловых воздействиях // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2015, № 2 (34), с. 182-191.
4. Марчук Г.И., Агошков В.И. *Введение в проекционно-сеточные методы*. М.: Наука. Гл. редакция физ.-мат. лит-ры, 1981.
5. Меркульев А.Ю., Горячев Н. В., Юрков Н. К. Системы охлаждения полупроводниковых электрорадиоизделий // *Молодой ученый*. 2013, №11, с. 143-145.
6. Подгорный С.А., Меркутов З.А., Кошевой Е.П. Метод конечных элементов в решении задач теплопроводности // *Вестник ВГУИТ*, 2013, №2, с. 10-15.
7. Сегерлинд Л. *Применение метода конечных элементов*. М.: Мир, 1979.