

УДК [677.021:533.6]:519.772

РАЗРАБОТКА ПАССИВНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ В СОСТАВЕ ТЕКСТИЛЬНОГО ОТДЕЛОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Зуев А.С., Корочкина Е.Е.

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный политехнический университет», Текстильный институт (Текстильный институт ИВГПУ), Иваново, e-mail: tepl@igta.ru

Проведен сравнительный анализ 3d моделей систем охлаждения для управляющих процессоров в красильно-отделочном производстве. Для определения точности результатов решения был произведен сравнительный анализ расчета с аналитическим методом Фурье. Учитывались следующие характеристики: теплопроводность материалов, влияние окружающей среды, тепловыделение работающего электронного оборудования. В результате сравнения ребристый радиатор оказался наиболее эффективным по охлаждению. Для улучшения теплоотводящих свойств был произведен расчет, с применением аналитического решения, температурного поля алюминиевого радиатора, с включением в его структуру наночастиц из углерода. Был разработан алгоритм для материала с нановключениями, позволяющий рассчитать тепловое поле для отдельно взятой частицы углерода в бесконечном пространстве при граничных условиях четвертого рода в любой момент времени. Данное решение может служить аналогом натурного эксперимента для проверки адекватности численных моделей процесса теплопроводности РЭА при анализе его теплового режима.

Ключевые слова: радиатор, процессор, система охлаждения, закон Фурье

DEVELOPMENT OF PASSIVE COOLING SYSTEMS COMPONENTS OF ELECTRONIC EQUIPMENT WITH AN INTERNAL SOURCE OF HEAT IN THE COMPOSITION OF TEXTILE FINISHING EQUIPMENT

Zuev A.S., Korochkina E.E.

Ivanovo State Polytechnical University, Textile institute, Ivanovo, e-mail: tepl@igta.ru

A comparative analysis of 3d models of cooling systems for control processors in dyeing - finishing production. To determine the accuracy of the decision was made a comparative analysis with the analytical calculation of the Fourier method. Into account the following characteristics: thermal conductivity materials, environmental impact, heat working electronic equipment. A comparison of finned heat sink was the most effective cooling. To improve the heat-removing properties were calculated, c using analytical solutions, the temperature field of aluminum radiator, with the inclusion of the structure of carbon nanoparticles. Developed an algorithm for material which can calculate the thermal nanoinclusions field for individual carbon particles in an infinite space with boundary conditions of the fourth kind at any time. This solution can serve as an analog of a natural experiment to test the adequacy of numerical models of heat transfer process in the analysis of REE it's thermal regime.

Keywords: radiator, processor, cooling system, Fourier law

Разработка систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры с внутренними источниками теплоты в тяжелых условиях красильно-отделочного производства – это актуальная и сложная задача. Электронное оборудование управляющих процессоров агрегатов в красильно-отделочном производстве работает в условиях повышенной влажности, запыленности и повышенной температуры. Стандартные методы охлаждения могут не справляться с такой задачей. Пыль очень быстро выводит кулеры из строя. Именно для таких тепловых условий нужна эффективная пассивная система охлаждения.

Цель исследования

Разработка надежных и эффективных пассивных систем охлаждения управляющих процессоров для оборудования красильно-отделочного производства.

Материал и методы исследования

В качестве объекта исследования была выбрана материнская плата 8IE533 фирмы Gigabyte, которая используется в тканепечатных машинах Шторм,

Уника итальянского производства, установленных на ОАО «Самтекс».

Теоретические исследования были проведены с использованием аналитических методов математического моделирования на основе метода Фурье.

Результаты исследования и их обсуждение

Нами разработано два типа пассивных систем охлаждения. Это радиатор из меди штыревого типа и радиатор из алюминия с включением наночастиц из углерода.

В качестве объекта исследования была выбрана материнская плата 8IE533 фирмы Gigabyte, которая используется в тканепечатных машинах «Шторм», «Уника» итальянского производства, установленных на ОАО «Самтекс» (рис. 1). Данная материнская плата имеет форм-фактор ATX (форм-фактор подавляющего большинства современных (2005 – 2011 гг.) персональных настольных компьютеров). Фотография данной материнской платы приведена на рис. 1.



Рис. 1. Материнская плата

Для пассивного охлаждения широкое применение получили радиаторы, которые различаются по виду развитой площади поверхности, а именно ребристые, штыревые и игольчато-штыревые. В качестве материала для модели была выбрана медь, ранее использовался алюминий. Медь имеет более высокий коэффициент теплопроводности [3], но значительно тяжелее алюминия.

Нами был проведено моделирование теплового режима системы охлаждения процессора данной материнской платы с различными формами радиатора из меди. Определена наиболее оптимальная форма с точки зрения теплоотводящих свойств в ус-

ловиях свободной конвекции. Было проведено сравнение трех видов радиаторов.

В результате чего наиболее эффективным оказался ребристый радиатор. Он на 12 % охлаждает лучше, чем другие модели. Далее была разработана наиболее оптимальная форма теплоотводящей поверхности, была подобрана оптимальная ширина пластин и расстояние между ними. Для большего увеличения площади поверхности теплообменника добавили на пластины дополнительные ребра. На рис 3. приведен разработанный нами радиатор. В итоге по сравнению с рассмотренными конструкциями эффективность охлаждения увеличилась на 8 %.

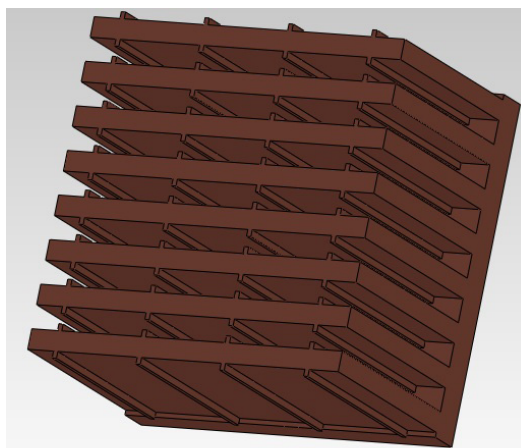


Рис. 2. Ребристый радиатор с дополнительными ребрами

Для улучшения теплоотводящих свойств [5] был произведен расчет температурного поля алюминиевого радиатора, с включением в его структуру наночастиц из углерода. Для решения поставленной задачи было применено аналитическое решение, предложенное А.В. Лыковым [4] методом преобразования Фурье. Задача состояла

в том, чтобы адаптировать данное решение, с граничными условиями четвертого рода, для расчета наноструктур в форме шара в бесконечном пространстве. С этой целью был разработан в пакете прикладных программ Matlab программный алгоритм. Язык Matlab является высокоуровневым интерпретируемым языком программирования,

включающим основанные на матрицах структуры данных, широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования.

Задача формулируется следующим образом. Сферическое тело помещается в неограниченную среду, где происходит охлаждение путем теплопроводности. Температура сферического тела выше температуры среды. Для полученного А.В. Лыковым решения, был разработан алгоритм. Программа позволяет рассчитать распределение температурного поля внутри сферы и на ее поверхности.

Также мы можем проследить за изменениями в любой момент времени. При расчетах мы задаем, что материалом сферического тела с диаметром 10^{-9} метра является углерод, а среды которая его окружает, алюминий.

Для представления, что происходит внутри материала с нановключениями, рассчитаем тепловое поле отдельно взятой частицы углерода. Необходимо найти распределение температуры в любой момент времени.

Безразмерное значение температуры θ в интересующей нас точке сферической частицы можно определить следующими выражениями

$$\theta_1 = \frac{R}{r} \left(\frac{1}{1-k_\lambda} \right) \left\{ \frac{-k_\lambda - k_\varepsilon}{k_\varepsilon + 1} \exp \left[\Pi_1^2 Fo_1 - \Pi_1 \left(1 \pm \frac{r}{R} \right) \right] * \operatorname{erfc} \left(\frac{1 \pm \frac{r}{R}}{2 Fo_1} - \Pi_1 \sqrt{Fo_1} \right) - \operatorname{erf} \frac{1 \pm \frac{r}{R}}{2 \sqrt{Fo_1}} \right\} \quad (1)$$

$$\theta_2 = \frac{R}{r} \left\{ \begin{aligned} & \operatorname{erfc} \frac{\frac{r}{R} - 1}{2 \sqrt{Fo_2}} + \frac{1}{k_\lambda - 1} \operatorname{erfc} \frac{\frac{r}{R} - 1}{2 \sqrt{Fo_2}} \\ & - \frac{k_\lambda + k_\varepsilon}{(k_\lambda - 1)(k_\varepsilon + 1)} \exp \left[\Pi_2^2 Fo_2 - \Pi_2 \left(\frac{r}{R} - 1 \right) \right] \operatorname{erfc} \left(\frac{\frac{r}{R} - 1}{2 \sqrt{Fo_2}} - \Pi_2 \sqrt{Fo_2} \right) - \\ & - \frac{1}{k_\lambda - 1} \operatorname{erfc} \frac{\frac{r}{R} - 1 + 2k_a^{-\frac{1}{2}}}{2 \sqrt{Fo_2}} + \\ & + \frac{k_\lambda + k_\varepsilon}{(k_\lambda - 1)(k_\varepsilon + 1)} \exp \left[\Pi_2^2 Fo_2 - \Pi_2 \left(\frac{r}{R} - 1 + 2K_a^{-\frac{1}{2}} \right) \right] \operatorname{erfc} \left(\frac{\frac{r}{R} - 1 + 2k_a^{-\frac{1}{2}}}{2 \sqrt{Fo_2}} - \Pi_2 \sqrt{Fo_2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где

$$\Pi_1 = \frac{k_\lambda - 1}{k_\lambda + \frac{k_\lambda}{k_\varepsilon}}, k_\lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, k_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}, \Pi_2 = \frac{k_\lambda - 1}{1 + k_\varepsilon};$$

где θ_1 – безразмерная температура шара, θ_2 – безразмерная температура алюминия, R – радиус шара, м; r – текущий радиус шара; t – время

Результаты расчета приведены на рис. 2, 3, на которых показано, как изменяется θ_1 и θ_2 с течением времени. Из графика видно, что температура среды снижается. На рис. 4 показано изменение температуры внутри сферы и за ее пределами.

Температурное поле [1] приведено в логарифмических координатах. На основе

результатов расчетов показывается в графической форме изменение температуры наночастицы в зависимости от времени охлаждения. С помощью языка программирования Matlab мы смогли привести аналитическое решение задачи с граничными условиями четвертого рода. Это позволило наиболее точно и быстро производить необходимые расчеты. А построение графика позволяет визуально рассмотреть решение. Данное решение может служить аналогом натурального эксперимента для проверки

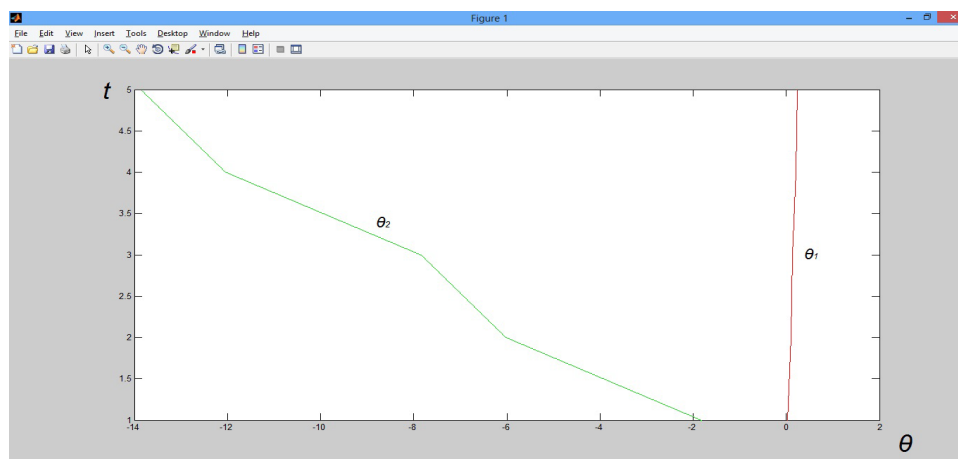


Рис. 3. Графики безразмерной температуры наночастицы из углерода и окружающей среды, изменение безразмерных температур θ_1 и θ_2 во времени

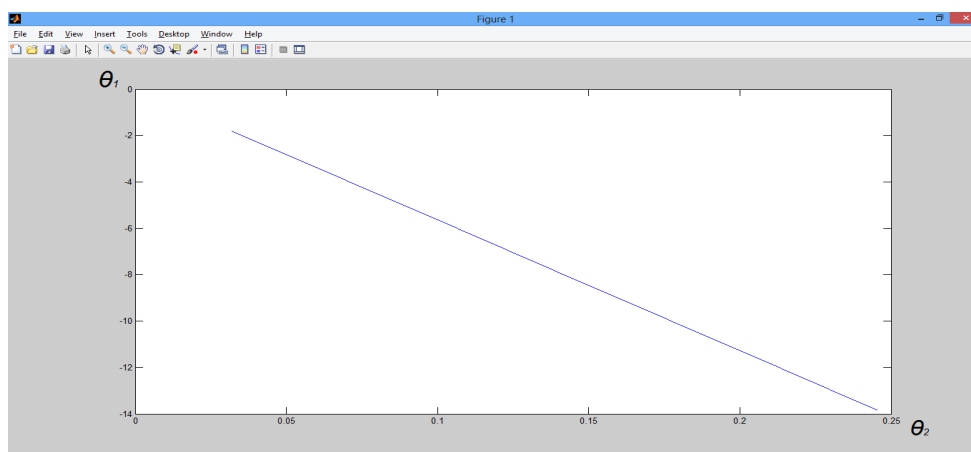


Рис. 4. График изменения отношения температур θ_1 к θ_2

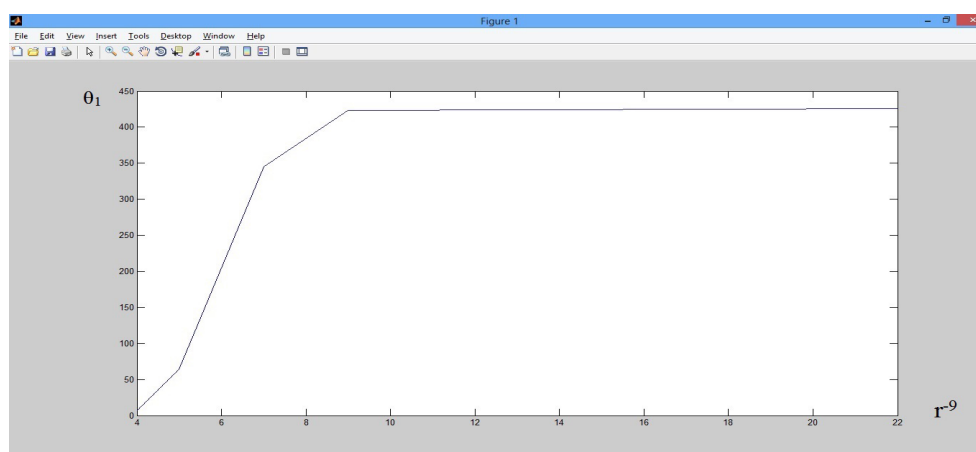


Рис. 5. Изменение безразмерной температуры θ_1 в разных точках сферы

адекватности численных моделей процесса теплопроводности РЭА при анализе его теплового режима.

Техническая новизна полученных результатов формы радиатора подтверждена патентом РФ на полезную модель «Устрой-

ство жидкостного охлаждения управляющих процессоров текстильного оборудования» № 121915 [2].

Температурное поле [1] приведено в логарифмических координатах. На основе результатов расчетов показывается в гра-

фической форме изменение температуры наночастицы в зависимости от времени охлаждения. С помощью языка программирования Matlab мы смогли привести аналитическое решение задачи с граничными условиями четвертого рода. Это позволило наиболее точно и быстро производить необходимые расчеты. А построение графика позволяет визуально рассмотреть решение. Данное решение может служить аналогом натурального эксперимента для проверки адекватности численных моделей процесса теплопроводности РЭА при анализе его теплового режима.

Техническая новизна полученных результатов формы радиатора подтверждена патентом РФ на полезную модель «Устройство жидкостного охлаждения управляющих процессоров текстильного оборудования» № 121915 [2].

Выводы

В результате проведенных исследований нами разработаны две пассивных конструкции радиаторов: пассивного из меди, пассивного из дюралюминия с включение наночастиц из углерода. Проведены необходимые расчеты температурных полей и сравнительный анализ эффективности радиаторов. А также разработан программный продукт для расчета температурного поля теплопроводящей поверхности радиатора с наноструктурами из углерода на основе аналитического решения средствами языка программирования сверхвысокого уровня Matlab.

Список литературы

1. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. Учебник. М: Высшая школа, 1984 г. – 247 с.
2. Патент РФ на полезную модель № 121915, 10.11.2012. Зуев А.С., Корнилов М.А., Корочкина Е.Е., Калинин Е.Н.//2012118178; Заявл.03.05.2012.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М: Высшая школа, 1967 г. – 600 с.
4. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977 – 344 с. с ил.
5. Хвесюк В.И. Перенос теплоты в наноструктурах. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 5.

References

1. Dulnev G.N. Teplo- i massoobmen v radiojelektronnoj apparature [Heat and mass transfer in electronic equipment]: Textbook. Moscow: High school, 1984. 247 p.
2. Patent RF na poleznuju model № 121915, 10.11.2012. Zuev A.S., Kornilov M.A., Korochkina E.E., Kalinin E.N.//2012118178; Zajavl.03.05.2012.
3. Lykov A.V. Teorija teploprovodnosti [Theory of Heat Conduction]: Moscow: High school, 1967. 600 p.
4. Miheev M. A., Miheeva I. M. Osnovy teploperedachi. Izd. 2-e, stereotip. [Fundamentals of Heat Transfer]: Moscow. Energy, 1977. 344 p.
5. Hvesjuk V.I. Perenos teploty v nanostrukturah [Heat transfer in nanostructures]: Journal of Engineering Science and innovation, 2013, no. 5.

Рецензенты:

Калинин Е.Н., д.т.н., профессор кафедры системного анализа, ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново;

Годлевский В.А., д.т.н., профессор кафедры экспериментальной и технической физики, ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный университет», г. Иваново.

Работа поступила в редакцию 24.06.2014.