

## CAUSES AND CONSEQUENCES OF FLOWERING WATER SOURCES USED FOR DRINKING WATER SUPPLY

© 2014

**K. E. Strelkov**, master

*Togliatti state University, Togliatti (Russia)*

**I. A. Lushkin**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair

«Heat, ventilation, water supply and sanitation»

*Togliatti state University, Togliatti (Russia)*

**V. M. Filenkov**, candidate of technical sciences, associate professor of the department  
«Heat and gas supply, ventilation, water supply and Sewerage», the head of the master's  
programme in «Urban water Supply and industrial enterprises»

*Togliatti state University, Togliatti (Russia)*

---

*Annotation.* Many settlements in the Russian Federation using surface sources of water for domestic water supply. Intensive increase in the number of blue-green algae leads to a significant reduction in the quality of water used, increases the monetary costs of its cleanup, is a danger to human health and the ecological state of nature as a whole.

*Keywords:* reservoir, water, cyanobacteria, water quality.

УДК 621.396.6

## РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ КОНДУКТИВНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ

© 2014

**А. И. Туищев**, доктор технических наук, доцент, профессор-консультант кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

**И. О. Губанов**, кандидат технических наук, старший преподаватель

*Тольяттинский колледж дизайна и управления, Тольятти (Россия)*

**В. М. Плеханов**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

**Д. Г. Токарев**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

---

*Аннотация.* Микроминиатюризация конструкций радиоэлектронных устройств приводит к тепловой нагруженности. Печатная плата рассматривается в качестве теплового источника, в котором электрическая энергия преобразуется в тепловую. Ее элементы в нагруженном состоянии представляют источники, стоки и приемники тепловой энергии. Представлен расчет тепловых режимов и характеристик печатных плат при кондуктивном теплообмене.

*Ключевые слова:* печатная плата, тепловая энергия, кондуктивный теплообмен, теплопроводность, расчет теплового потока, радиатор.

Микроминиатюризация конструкций радиоэлектронных устройств приводит к тепловой нагруженности, связанной с перегревом элементов и самого печатного узла. В этом случае печатную плату можно рассматривать в качестве теплового источника, в котором электрическая

энергия преобразуется в тепловую. Элементы на печатной плате в нагруженном состоянии, таким образом, представляют источники, стоки и приемники тепловой энергии. По известным данным К. П. Д. преобразования полезного электрического сигнала составляет единицы процен-

та, т. е. РЭС можно рассматривать в качестве нагревателя, имеющего большой К. П. Д.

В радиоэлектронном устройстве, представляющем электронный конструктив II уровня иерархии РЭС присутствуют все три вида теплообмена: кондукция (теплопроводность), конвекция и лучеиспускание (радиация). Представим нижеуказанные виды теплообмена с позиции основных законов теплопередачи.

Теплопроводность представляет процесс передачи тепловой энергии внутри твердого тела или неподвижной жидкости (газа) от участков с более высокой температурой к участкам с более низкой температурой или же при соприкосновении двух твердых тел с различной температурой.

Процесс теплопроводности связан с понятиями температурного поля и градиента температуры. В общем виде температура  $\theta$  является функцией координат трехмерного пространства  $x, y, z$  и времени  $t$ .

$$\theta = f(x, y, z, t). \quad (1)$$

Температурное поле можно рассматривать как совокупность значений температуры для всех точек рассматриваемого пространства в определенный промежуток времени.

Для одномерного пространства уравнение (1) можно представить в виде

$$\theta = f(x). \quad (2)$$

Геометрическое место точек, имеющих одинаковую температуру, образует изотермическую поверхность. Поскольку в одной и той же точке пространства не может быть двух различных значений температур, то можно сказать, что изотермические поверхности не пересекаются друг с другом – все они либо кончатся на границе тела, либо замыкаются на себе. Поэтому изменение температуры в теле может иметь место лишь в направлениях, пересекающих изотермические поверхности (рисунок 1).

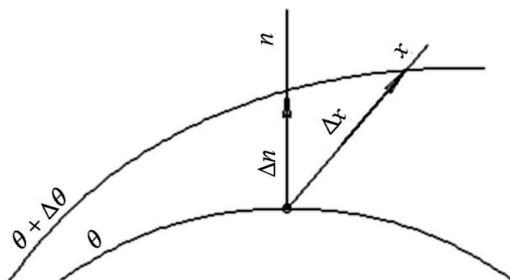


Рисунок 1 – Изотермическая поверхность и температурный градиент

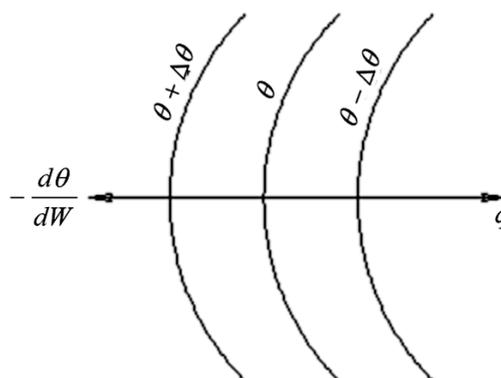


Рисунок 2 – Температурный градиент и удельный тепловой поток

Наибольшее изменение температуры  $\theta$  имеет место в направлении нормали  $n$  к изотермической поверхности.

$$\lim(\Delta\theta/\Delta n)_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{\partial\theta}{\partial n} = grad\theta = \nabla\theta, \quad (3)$$

где  $\nabla$  – математический символ градиента.

Температурный градиент является вектором, имеющим направление по нормали по отношению изотермической поверхности в сторону возрастания температуры. Передача же тепла ведется только в направлении уменьшения значения температуры. Обозначим количество тепла, передающегося через произвольную поверхность в единицу времени, через  $q$ , а удельный тепловой поток –  $q$ . Удельным тепловым потоком называют количество тепла (тепловой поток), отнесенное к единице поверхности. Плотность теплового потока совпадает с направлением тепла в данной точке тела и противоположно направлению вектора теплового градиента (рисунок 2).

Основной закон теплопроводности носит название закона Фурье

$$q = -\lambda grad\theta = -\lambda\Delta\theta, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{°C}$ .

Коэффициент  $\lambda$  характеризует способность данного материала проводить тепло

$$\lambda = -\frac{|q|}{grad\theta} = \frac{Q}{S \cdot t \cdot \Delta\theta/\Delta x}, \quad (5)$$

где  $Q$  – тепловой поток;

$s$  – площадь;

$t$  – время;

$\Delta\theta$  – изменение температуры;

$\Delta x$  – расстояние между рассматриваемыми изотермическими поверхностями.

Так для сухого воздуха при  $\theta = 20^\circ\text{C}$  и нормальном давлении  $\lambda = 0,0276 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

для воды  $\lambda = 0,597 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

гетинакса  $\lambda = 0,17 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

текстолита  $\lambda = 0,27 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

серебра  $\lambda = 420 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

меди  $\lambda = 390 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

золота  $\lambda = 310 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

алюминия  $\lambda = 230 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

латуни  $\lambda = 105 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

стали  $\lambda = 45 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

слюды  $\lambda = 0,5 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

дюралюминия  $\lambda = 180 \text{ Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ .

Величина  $\lambda$  зависит от температуры. Для большинства металлов с повышением температуры  $\lambda$  убывает.

Распределение тепла может происходить в стационарном режиме, при котором температурное поле не меняется во времени, и в нестационарном режиме, когда температурное поле зависит от времени.

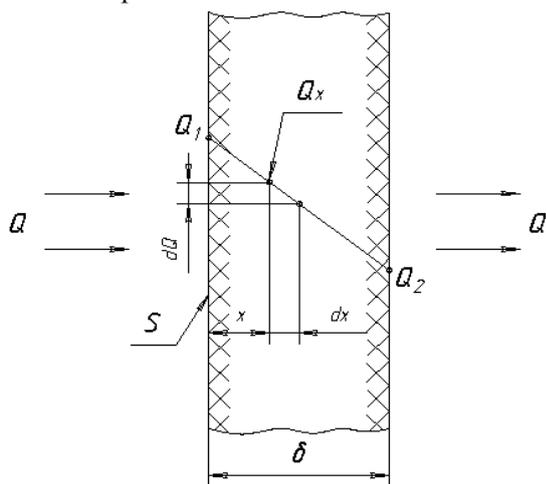


Рисунок 3 – распределение температур на поверхностях диэлектрического основания печатной платы

Для стационарного режима величину теплового потока  $Q$ , прошедшую через плоскую однородную стенку можно найти из формулы (6).

$$Q = \lambda \cdot S \cdot \Delta\theta / \delta, \quad (6)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки,  $\text{Bm}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ;

$S$  – площадь поверхности стенки,  $^\circ\text{C}$ ;

$\Delta\theta$  – разность температур поверхностей стенки,  $^\circ\text{C}$ ;

$\delta$  – толщина стенки,  $\text{м}$ ;  $\delta = h_{\text{п.п.}}$ .

Представив диэлектрическое основание печатной платы с температурами сторон  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , как плоскую стенку, покажем распределение температур на рис.3.

Считая толщину фольги печатной платы в форме бесконечно тонкого слоя, «вырезанного» перпендикулярно направлению теплового потока, величину удельного теплового потока можно записать в виде

$$q = -\lambda \cdot d\theta / dx, \quad (7)$$

где  $q$  – удельный тепловой поток,  $\text{вт}/\text{м}^2$ ;

$d\theta / dx$  – градиент температуры при малом приращении координаты  $x$  по толщине фольги.

При стационарном режиме  $\theta$  и  $s$  в любом слое стенки одинаковы, то при  $\lambda = \text{const}$  падение температуры  $\theta_1 - \theta_x$  пропорционально толщине рассматриваемого слоя  $x$  стенки.

Двухсторонняя печатная плата представляет трехслойную стенку, в которой поверхностные слои имеют толщину  $h_\phi = \delta_1$ , а диэлектрическое основание имеет слой  $h_{\text{п.п.}} = \delta_2$ .

Распределение температур в сечении печатной платы представим на рис.4.

Распределение температур в сечении печатной платы представим на рис.4.

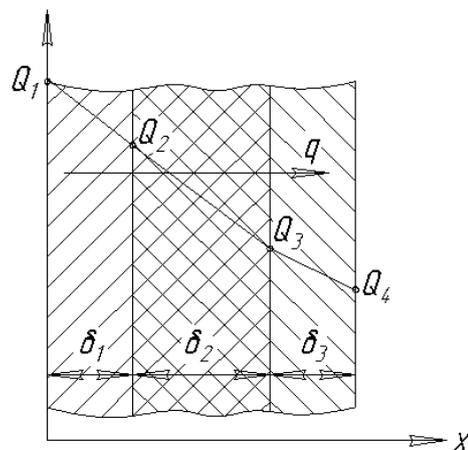


Рисунок 4 – распределение температур в сечении печатной платы

Для стационарного теплового режима имеем

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(\theta_1 - \theta_2); q = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(\theta_2 - \theta_3) \text{ и}$$

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(\theta_3 - \theta_4). \quad (8)$$

Сложив левые и правые части системы уравнений (8), имеем

$$\theta_1 - \theta_4 = q \cdot \left( 2\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \delta_2\lambda_2 \right). \quad (9)$$

Откуда удельный тепловой поток составляет

$$q = \frac{\theta_1 - \theta_4}{2\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \delta_2\lambda_2} = \frac{\lambda_{\text{ЭКВ}}}{\sum \delta} \cdot (\theta_1 - \theta_{n+1}). \quad (10)$$

Для стенки, имеющей  $n$  слоев, вводится понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности  $\lambda_{\text{ЭКВ}}$ , тогда величину удельного потока можно записать в форме выражения

$$q = \frac{\theta_1 - \theta_{n+1}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}}, \quad (11)$$

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} =$$

где

$$\frac{\sum \delta}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}}$$

*Пример.* Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности и удельный тепловой поток двусторонней печатной платы при температурах ее граничных поверхностей  $\theta_1 = 70^\circ\text{C}$  и  $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$ ; первый слой – медная фольга,  $h_\phi = \delta_1 = 50\text{мкм}$ ,  $\lambda_1 = 390\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ ; второй слой – диэлектрическое основание толщиной  $h_{\text{П.П.}} = \delta_2 = 1\text{мм}$ , материал стеклотекстолит –  $\lambda_2 = 0,27\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ ; третий слой – медная фольга,  $h_\phi = \delta_1 = 50\text{мкм}$ ,  $\lambda_3 = 390\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ .

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} =$$

$$= \frac{50 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-3} + 50 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-6} / 390 + 1 \cdot 10^{-3} / 0,27 + 50 \cdot 10^{-6} / 390}$$

$$= 0,297\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$$

Удельный тепловой поток через двустороннюю печатную плату

$$q = \frac{\lambda_{\text{ЭКВ}}(\theta_1 - \theta_2)}{\sum \delta} = \frac{0,297 \cdot (70 - 20)}{1,1} = 13,51\text{Вт/м}^2.$$

При определении теплового потока вводят понятие о тепловом сопротивлении стенки  $R_T = \frac{\delta}{\lambda \cdot S}$ , тогда закон Фурье принимает форму закона Ома

$$Q = (\theta_1 - \theta_2) / R_T. \quad (12)$$

Или

$$R_T = \frac{\delta}{\lambda \cdot S}. \quad (13)$$

Величина, обратная тепловому сопротивлению, представляет тепловую проводимость

$$G_T = 1/R_T = \lambda \cdot S \cdot \delta^{-1} \quad (14)$$

В общем тепловое сопротивление стенки конструкции

$$R_T = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{\lambda \cdot S(x)}, \quad (15)$$

где  $dx$  – элемент длины пути теплового потока;

$S(x)$  – площадь изотермической поверхности в аналитическом выражении;

$x_1$  и  $x_2$  – расстояние от начала отсчета изотермических поверхностей.

Данный метод расчета может быть использован для проектирования радиаторов радиоэлектронных устройств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туищев А. И. Методы и средства компьютерного управления радиационным нагревом. М. : ГАСБУ. 1998. 317 с.
2. Туищев А. И. Проектирование бытовых радиоэлектронных средств. М. : МГУС. 2002. 488с.

**CALCULATION OF THERMAL MODES AND CHARACTERISTICS  
OF PRINTED-CIRCUIT BOARDS OF RADIO ELECTRONIC MEANS AND COMPUTER  
EQUIPMENT IN THE CONDUCTION COOLED HEAT EXCHANGE**

© 2014

**A. I. Tuishchev**, doctor of technical sciences, associate professor, professor-consultant of the department «Automation of technological processes and productions»

*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

**I. O. Gubanov**, candidate of technical sciences, senior lecturer

*Togliatti College of design and management, Togliatti (Russia)*

**V. M. Plekhanov**, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department «Automation of technological processes and productions»

*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

**D. G. Tokarev**, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Automation of technological processes and production»

*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

---

*Annotation.* Micro-miniaturization designs of radio electronic devices leads to thermal loading. Printed-circuit board is considered as a heat source, in which electric energy is converted into heat. Its elements in the laden condition are the sources and sinks of thermal energy. Present the calculation of thermal modes and characteristics of printed-circuit boards in the conduction cooled heat exchange.

*Keywords:* printed-circuit board, heat energy, conductive heat transfer, thermal conductivity, calculation of heat flux, heat sink.

УДК 621.396.6

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ  
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
ПРИ КОНВЕКЦИОННОМ И РАДИАЦИОННОМ ТЕПЛООБМЕНАХ**

© 2014

**A. И. Тушцев**, доктор технических наук, доцент, профессор-консультант кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

**И. О. Губанов**, кандидат технических наук, старший преподаватель

*Тольяттинский колледж дизайна и управления, Тольятти (Россия)*

**В. М. Плеханов**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

**Д. Г. Токарев**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

---

*Аннотация.* Конвекция в радиоэлектронных средствах представляет процесс переноса тепла между поверхностью твердого тела и воздушной средой. Теплообмен излучением осуществляется за счет электромагнитных колебаний в широком диапазоне длин волн. Представлен расчет тепловых режимов печатных плат при конвекционном и радиационном теплообмене.

*Ключевые слова:* радиоэлектронные средства, печатная плата, тепловой поток, теплоотдача, теплопроводность, конвекционный теплообмен, радиационный теплообмен, расчет тепловых режимов.