

УДК 658.51.011.56

А.М. Синотин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОПТИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

Рассматривается влияние размещения тепловыделяющих элементов в нагретой зоне РЭА работающего в стационарном режиме на его оптимальные размеры. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие теоретические исследования.

Ключевые слова: коэффициент теплоотдачи, анизотропность, относительный параметр теплопроводности, нагретая зона, эффективная теплопроводность.

Введение

При расчёте и проектировании теплонагруженных аппаратов радиоэлектронных систем возникает необходимость учёта их тепловых режимов. Из-за неравномерной концентрации тепловыделяющих элементов, либо вследствие применения в электрических схемах элементов с различной рассеиваемой мощностью по объёму прибора создаётся неоднородное тепловыделение. Поэтому наряду с другими параметрами [1] необходимо учитывать параметр неравномерности распределения удельной мощности (W Вт / м³) источников тепла β_w . Данный параметр для β_w можно получить, исходя из общего решения уравнения теплопроводности для квазиоднородного, анизотропного по теплопроводности тела (нагретая зона РЭА с плотным монтажом [1]) в форме параллелепипеда с размерами $2l_x \cdot 2l_y \cdot 2l_z$ с неравномерным симметричным распределением мощности источников тепла. На границе тела происходит теплообмен по закону Ньютона (граничные условия 3-го рода) при нулевых начальных условиях.

Цель исследования. Определение влияния характера расположения тепловыделяющих радиоэлектронных элементов в нагретой зоне на тепловой режим аппарата.

Основной материал

Используя для решения дифференциального уравнения теплопроводности метод двойного разделения переменных [2] и ограничиваясь первым членом ряда общего решения, приходим к следующему выражению для β_w в стационарном режиме:

$$\beta_w = \frac{\int_0^{l_x} \int_0^{l_y} \int_0^{l_z} \frac{W(x,y,z)}{W} U_x \cdot U_y \cdot U_z \cdot d_x \cdot d_y \cdot d_z}{\int_0^{l_x} \int_0^{l_y} \int_0^{l_z} U_x \cdot U_y \cdot U_z \cdot d_x \cdot d_y \cdot d_z}; \quad (1)$$

$$U_i = \cos \mu_i \frac{\mu_i}{l_i}; \quad \cos \mu_i \frac{\mu_i}{l_i}; \quad i = x, y, z. \quad (2)$$

$$\mu_i \cdot \text{tg} \mu_i = B_i; \quad B_i = \frac{K_i}{\lambda_i} l_i; \quad (3)$$

$$W = \frac{P}{8l_x \cdot l_y \cdot l_z}, \quad (4)$$

где P – мощность всех источников тепла $\sum_{i=1}^n P_i$, Вт;

K_i – коэффициент теплопередачи от i -й грани к окружающей среде. Вт / (м²·К);

λ_i – коэффициент теплопроводности вдоль оси симметрии параллелепипеда $i = x, y, z$, Вт / (м·К).

Собственные значения μ_i затабулированы в функции критерия Био для граничных условий 3-го рода в работе [3].

Таким образом, связь между параметрами теплофизического проектирования – допустимой максимальной температурой перегрева ϑ_0 град и рассеиваемой мощностью с учётом параметра β_w [1] определяются выражением

$$3,62P \cdot \beta_{w,\beta} = \vartheta_0. \quad (5)$$

Конструктивные условия минимизации параметра β_w при равномерном распределении мощности также рассмотрены в работе [1].

Для оценки условий минимизации параметра β_w рассмотрим решение выражения (1) для крайне неравномерного случая распределения мощности, когда источники тепла мощностью W сконцентрированы в симметрично расположенных ограниченных объёмах $2a_x \cdot 2a_y \cdot 2a_z$ (рис. 1) вдоль одной из осей. Интегрирование уравнения (1) с учётом (2–4) (рис. 1) и последующие преобразования дают следующие выражения:

$$\beta_w = \prod_i \frac{\sin \mu_i \cdot \frac{a_i}{l_i} \cdot \cos \mu \left(\frac{h_z}{l_z} + \frac{a_z}{2l_z} \right)}{\frac{a_i}{l_i} \cdot \sin \mu_i \cdot \cos \mu_z \cdot \frac{a_z}{2l_z}}, \quad i = x, y, z. \quad (6)$$

Для случая превращения в точечный источник табл. 1 (предельная неравномерность распределения мощности $a_i \rightarrow 0$)

$$\beta_w = \prod_i \frac{\mu_i}{\sin \mu_i} \cdot \cos \mu_z \frac{h_z}{l_z}. \quad (7)$$

Таблица 1
Численные значения β_w для предельных случаев

B_i	Точечный источник			Плоский источник $a_x = l_x; a_y = l_y;$ $a_z = 0$		
	$\left(\frac{h_z}{l_z}\right)_0$	β_w		$\left(\frac{h_z}{l_z}\right)_0$	β_w	
		$\frac{h_z}{l_z} = 0$	$\frac{h_z}{l_z} = 1$		$\frac{h_z}{l_z} = 0$	$\frac{h_z}{l_z} = 1$
0,5	0,39	1,2	0,9	0,23	1,1	0,9
1	0,51	1,4	0,9	0,31	1,1	0,7
2	0,69	1,8	0,8	0,39	1,2	0,6
5	0,74	2,5	0,6	0,47	1,3	0,3
10	0,78	3,0	0,4	0,51	1,4	0,2
50	0,82	3,7	0,1	0,55	1,5	0,1
	0,83	3,9	0,0	0,56	1,6	0,0

В таблице 1 приведены численные значения β_w для предельных случаев, когда мощность сконцентрирована в центре нагретой зоны ($h_z/l_z = 0$) или на периферии ($h_z/l_z = 1$). Здесь же даны положения источников $(h_z/l_z)_0$, соответствующие $\beta_w = 1$ при различных значениях критерия B_i .

В расчетах принимались одинаковые условия теплообмена на границе $B_i = Bi$.

Из выражения (7) следует, что при малых значениях критерия B_i , когда согласно (3) $\sin \mu \approx \mu$, а $\cos \mu_z \frac{h_z}{l_z} \approx 1$, параметр $\beta_w \approx 1$ независимо от места расположения источников (h_z/l_z) , т.е. минимизация β_w невозможна.

Большие значения критерия B_i и концентрация источников в центре (табл. 1, $h_z/l_z = 0$) вызывает существенный рост β_w , достигающий при $B_i = \infty$ четырёхкратного увеличения по сравнению с равномерным распределением мощности ($\beta_w = 1$). Концентрация тепловыделений на периферии ($h_z/l_z \rightarrow 1$) способствует уменьшению β_w , начиная же с (h_z/l_z) происходит минимизация па-

раметра β_w по сравнению с равномерным распределением мощности.

Для проверки полученных теоретических закономерностей проведены температурные испытания тепловых макетов РЭА при различных законах концентрации мощности (h_z/l_z) в объёме нагретой зоны. Эксперименты проводились в условиях естественного воздушного охлаждения ($B_i = 2,3$).

Нагретая зона теплового макета набиралась из девяти стеклотекстолитовых плат размером $130 \times 130 \times 1,5$ мм. В качестве тепловых источников на платах размещались резисторы МЛТ-2, 11кОм. Равномерное распределение мощности создавалось путём подачи питания на все платы. Отключение от центральной и последующих плат при сохранении постоянства рассеиваемой мощности $P = 25$ Вт имитировало изменение концентрации источников от равномерного к периферийному ($h_z/l_z = 0-1$). Результаты температурных испытаний представлены на рис. 2, 3.

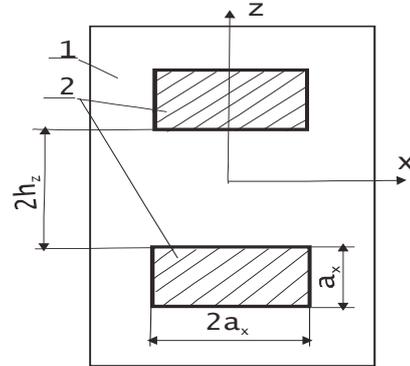


Рис. 1. Размещение источников тепла в объёме нагретой зоны: 1 – нагретая зона РЭА в форме параллелепипеда $2l_x \cdot 2l_y \cdot 2l_z$; 2 – источники тепла размеров $2a_x \cdot 2a_y \cdot 2a_z$ с удельной мощностью W Вт/м³

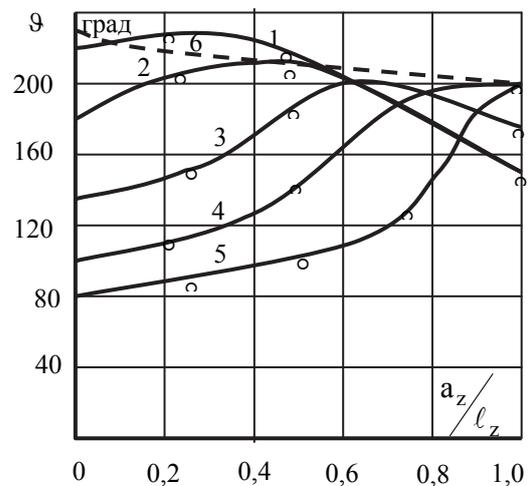


Рис. 2. Характер изменения температуры в центре плат при различных законах размещения тепловыделяющих элементов (h_z/l_z) в условиях естественного охлаждения ($B_i = 2,3$)

Експериментальні дані підтверджують слабе впливу закону розподілу потужності при малих значеннях V_i на максимальну температуру перегреву РЭА. Має місце лише переміщення максимального перегреву (рис. 2, штрих пунктирна лінія) із центральної зони, при рівномірному розподілі потужності, к периферії в зону концентрації джерел тепловиділення.

Кількісні значення параметра β_w , розраховані з виразу (6), задовільно збігаються з експериментальними (рис. 3).

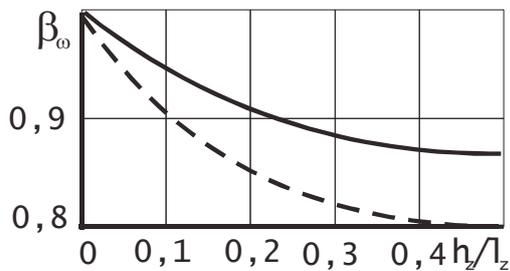


Рис. 3. Експериментальні та розраховані значення параметра ($\beta_w = \beta_w(h_z/L_z)$) при $V_i = 2,3$;
- розрахунок за виразом (6), ---- експеримент

Аналітичні та експериментальні дослідження впливу закону розподілу потужності на температурний режим апарату дозволяють зробити наступні висновки та рекомендації для теплофізичного конструювання РЭА.

Висновки

1. Кількісні значення параметрів β_w можуть бути визначені при прийнятій законі роз-

поділу потужності джерел тепла (радіоелементів) по вираженням (1; 6).

2. В крупногабаритних РЭА та апаратах з інтенсивним поверхневим охолодженням нагрітої зони ($V_i > 2$) необхідно передбачувати периферійне розміщення тепловиділяючих елементів та потужних джерел тепла з мінімальним відносним віддаленням від центральної зони на h_z/L_z (см. табл. 1). Це призводить до мінімізації параметра β_w , до підвищення ефективності поверхневого охолодження та при заданій максимальній температурі перегреву дає більш високі значення потужності, розсіюваної конструкцією РЭА (5).

3. Для малогабаритних РЭА не більш 0,15 м., що в умовах природного охолодження ($K = 5$ Вт/(м \times К) та $\lambda = 0,2$ Вт/(м \times К) [1]) забезпечує $V_i < 2$, нерівномірним характером розподілу потужності можна пренебрати, полагаючи в вираженні (5) $\beta_w = 1$ (см. табл. 1).

Список літератури

1. Дульнев Г.Н. Теплові режими електронної апаратури / Г.Н. Дульнев, Н.П. Тарнавський. – Л.: Енергія, 1971. – 248 с.
2. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1966. – 724 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. школа, 1967. – 600 с.

Поступила в редакцію 6.01.2017

Рецензент: д-р техн наук проф. В.А. Тимофеев, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІЩЕННЯ ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОПТИМАЛЬНІ РОЗМІРИ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ

А.М. Сінотін

Розглядається облік нерівномірності розподілу питомої потужності джерел тепла в нагрітій зоні РЭА при теплофізичному конструюванні в стаціонарному режимі.

Ключові слова: анізотропія, нагріта зона, ефективна теплопровідність, відносний параметр теплопровідності, коефіцієнт тепловіддачі.

RESEARCH OF INFLUENCING OF PLACING OF HEAT-GENERATING ELEMENTS OF STEP IS THE OPTIMUM SIZES OF VEHICLES RADIO ELECTRONIC

A.M. Sinotin

Consideration of unevenness of distributing of specific power of sources of heat in the heated area REA at the thermal-physic constructing in the stationary mode is considered.

Keywords: anisotropies, heated area, effective heat conductivity, relative parameter of heat conductivity, coefficient of heat emission.