

УДК658.61.011.56

А.М. Синотин, Т.А. Колесникова

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МЕТОД РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ ОДНОБЛОЧНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

В статье приводятся расчётные зависимости, полученные из условия приближённого подобия температурных полей радиоэлектронных аппаратов. Приведена оценка возможных ошибок метода и способов их уменьшения для тел с большой асимметрией формы

Ключевые слова: темп регулярного режима, относительный коэффициент формы тела, обобщённый критерий Био, обобщённый критерий Фурье, температуропроводность, теплопроводность, нагретая зона.

Введение

Актуальность. Проектирование современных радиоэлектронных аппаратов (РЭА), наряду с разработкой электрических схем, предъявляет жёсткие требования к температурному режиму будущей конструкции, которая наряду с другими факторами существенно сказывается на надёжности, весовых и габаритных размерах системы в целом [1 – 8].

Цель исследования. Получение расчётной зависимости для определения коэффициента формы тел (нагретой зоны РЭА) сложных форм.

Основной материал

При решении практических задач, связанных с исследованием и расчётом температурных полей РЭА с плотным монтажом, широкое применение находят методы регулярного теплового режима [1,4]. Для расчёта основной характеристики такого процесса – темпа регулярного режима $m \text{ сек}^{-1}$ – наряду с теплофизическими константами материала и среды необходимо знать коэффициент формы тела (нагретой зоны РЭА) $K \text{ м}^2$.

Для тел основных форм (шар, цилиндр, пластина) существуют строгие расчётные зависимости, позволяющие определить K .

Для тел сложной конфигурации получение таких зависимостей сопряжено, практически, с непреодолимыми математическими трудностями и K определяют опытным путём.

Методика испытаний, как и все методы регулярного режима, сравнительно проста и доступна, но вызывает дополнительные затраты времени на изготовление моделей, проведение экспериментов и т.д. Это существенно сдерживало применение методов регулярного режима для исследования РЭА и их элементов, когда форма аппаратов имела некоторые деформации по отношению к параллелепипеду, цилиндру и др.

С целью получения расчётных зависимостей для K в данной работе был применён метод прибли-

жённого подобия температурных полей. Это позволило отказаться от решения уравнения теплопроводности и избежать связанных с ним математических трудностей при расчёте тел сложной конфигурации.

Согласно методу приближённого подобия все тела произвольной формы по характеру температурного поля могут быть разбиты на три группы:

- 1) тела с тремя измерениями одного порядка;
- 2) с двумя измерениями одного порядка и бесконечно большим третьим измерением;
- 3) с двумя бесконечно большими измерениями и одним измерением конечного порядка.

В качестве эталонного тела в первой группе выступает равновеликий по объёму шар радиуса $R_{ш}$; во второй группе – бесконечный цилиндр радиуса $R_{ц}$ и в третьей группе – бесконечная пластинка толщиной $\Delta_{пл}$.

Соответственно коэффициенты формы эталонных форм равны:

$$\begin{aligned} \hat{E}_o &= \frac{R_o^2}{\pi^2}; \\ \hat{E}_i &= \frac{\Delta_i^2}{\pi^2}; \\ \hat{E}_o &= \frac{R_o^2}{2,405}. \end{aligned} \quad (1)$$

Значения $R_{ш}$, $R_{ц}$, $\Delta_{п}$ определяются из условия равновеликости объёмов эталонного и исследуемого тел.

Нестационарное, одномерное температурное поле для тела каждой группы на стадии регулярного режима выражается критериальной зависимостью:

$$\Theta = \Theta \left(\dot{I}, F_{0\epsilon}, \frac{r}{R_{\dot{y}o}} \right), \quad (2)$$

где Θ – относительная температура;

$$\dot{I} = \frac{\dot{\alpha} s K}{\lambda V} \text{ – обобщённый критерий Био;}$$

$$F_{0\epsilon} = \frac{\dot{a}\tau}{\dot{E}} - \text{обобщённый критерий Фурье};$$

a, λ – температуропроводность и теплопроводность, $\text{м}^2/\text{сек}; \text{Вт}/\text{м} \cdot \text{град};$

α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}^{-1}$

$$\frac{r}{R_{y\delta}} - \text{критерий местоположения};$$

$R_{\text{ст}}$ – определяющий размер ($R_{\text{ст}} = R_{\text{ш}}; R_{\text{ц}}; \Delta_{\text{п}}$), $\text{м};$
 V, s – объём и охлаждаемая поверхность, $\text{м}^3, \text{м}^2;$
 τ – время, $\text{сек}.$

Из теории приближённого подобия в явлениях теплопроводности [2] следует:

1) при рассмотрении подобия температурных полей тел, относящихся к одной группе, можно исключить обязательность геометрического подобия, а температурные поля на некотором удалении от охлаждаемой поверхности считать практически однородными;

2) имеет место, приближённое подобие температурных полей исследуемого и равновеликого по объёму эталонного тела данной группы, выполненного из того же материала и имеющего те же условия теплообмена по закону Ньютона с окружающей средой.

Теплофизические коэффициенты и температура среды предполагаются постоянными.

$$V_{\text{ст}} = V; a_{\text{ст}} = a; \lambda_{\text{ст}} = \lambda; \alpha_{\text{ст}} = \alpha. \quad (3)$$

Приближённое подобие означает практически точное подобие в сходственных точках на некотором удалении от охлаждаемой поверхности и подобие средних температур в сходственных сечениях вблизи и на охлаждаемой поверхности тел в сходственные моменты времени. Сходственными точками (поверхностями) являются точки (поверхности), имеющие одинаковые значения критерия $r/R_{\text{ст}}$. Сходственные моменты времени определяются из условия:

$$\tau_{\text{ст}} = A \cdot \tau, \quad (4)$$

где $A = \frac{s}{s_{y\delta}}$ – критерий приближённого подобия.

Согласно общей теории подобия, учитывая приведенные выше положения приближённого подобия и уравнений (2), (3), можно сказать, что всегда имеет место равенство определяющих критериев подобия исследуемого и эталонного тела группы:

$$H_{\text{ст}} = H; F_{0\epsilon y\delta} = F_{0\epsilon} \quad (5)$$

Подставляя значения H и $F_{0\epsilon}$ из (2) и (5), с учётом (3) приходим к равенствам:

$$\tau_{\text{ст}} = 1/E \cdot \tau; \quad (6)$$

$$E = s_{\text{ст}}/s, \quad (7)$$

где $E = K/K_{\text{ст}}$ – относительный коэффициент формы.

Равенства (6) и (7) выражают существующее при приближённом подобии условие (4) и устанавливает связь между A и E .

Таким образом, относительный коэффициент формы есть величина обратная критерию приближённого подобия.

Равенства (7) и (1) являются расчётными зависимостями для получения относительного и абсолютного значения коэффициента формы тела произвольной конфигурации.

Рассмотрим порядок расчёта E и K на примере тела первой группы в форме куба со стороной ℓ ; $s = 6 \ell^2 \text{ м}^2; V = \ell^3 \text{ м}^3.$

Из условия равновеликости объёмов

$$R_{\text{ст}} = R_{\text{ш}} = \ell \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \text{ м};$$

$$S_{\text{ст}} = 4\pi R_{y\delta}^2 = 4\pi \ell^2 \sqrt[3]{\frac{9}{16\pi^2}} \text{ м}^2;$$

по формуле (1)

$$K_{\text{ст}} = K_{\text{ш}} = \frac{\ell^2}{\pi^2} \sqrt[3]{\frac{9}{16\pi^2}} \text{ м}^2;$$

из (7)

$$E = \frac{s}{s_{y\delta}} = \frac{4\pi \ell^2}{6\ell^2} \sqrt[3]{\frac{9}{16\pi^2}} = 0,81;$$

$$K = EK_{\text{ст}} = 0,81 \frac{\ell^2}{\pi^2} \sqrt[3]{\frac{9}{16\pi^2}} = 0,032 \ell^2 \text{ м}^2.$$

В табл. 1 приведены значения E для ряд тел первой группы, полученные расчётом по (7).

Таблица 1

Значения относительного коэффициента формы

№ пп	Форма тела	E по (7)	E опыт	E расч.	$\delta\epsilon \cdot 100\%$
1	Архимедов цилиндр	0,875	-	0,912	4
2	Куб	0,810	-	0,865	6
3	Трёхгранная равносторонняя призма	0,715	0,692	-	3
4	Конус, в сечении правильный треугольник	0,765	0,668	-	15
5	Правильный тетраэдр	0,670	0,635	-	6

Для сравнительной оценки таблица содержит значения E этих же тел, полученные экспериментально или по точным расчётным формулам [3].

Анализ таблицы показывает, что расчёт относительного коэффициента формы E по (7) удовлетворительно согласуется с данными экспериментов [3] и расчётами по точным формулам для простых форм.

Для тел с симметричной конфигурацией во всех трёх направлениях даже с такой значительной деформацией охлаждаемой поверхности по отношению к шару, как правильный тетраэдр или куб, ошибка расчётов по (7) не превышает 6 %.

Нарушение симметрии, деформация поверхности преимущественно в одном направлении и т. д. ведут к увеличению ошибки расчётов по (7). Так, для конуса ошибка составила уже 15 % (табл. 1).

Выводы

1. Таким образом, полученные по методу приближённого подобия расчётные зависимости (7) и (1) могут быть использованы для расчёта коэффициента формы тел (нагретых зон РЭА с плотным монтажом) сложной конфигурации.

2. Для тел с явно выраженной асимметрией формы (конус, клин и др.) ошибка расчёта возрастает, но рассмотренный метод позволяет в этом случае значительно упростить и ускорить постановку эксперимента. Модель должна копировать лишь главные очертания формы, а все внешние деформации и искажения учитываются расчётом по (7), где в качестве $K_{\text{т}}$ будет выступать полученное из опыта значение коэффициента формы.

3. Изложенный метод может быть использован и для экспериментального определения по методу регулярного режима теплофизических коэффициентов и коэффициентов теплообмена непосредственно на натуральных объектах сложной конфигурации, минуя модели.

Список литературы

1. Иванов О.А. Охлаждение аппаратуры РЛС / О.А. Иванов. – М., Военное издательство министерства обороны СССР, 1975. – 96 с.
2. Дульнев Г.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры / Г.Н. Дульнев, Н.Н. Тарнавский. – Л.: Энергия, 1971. – 287 с.
3. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 315 с.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Госэнергоиздат, 1952. – 392 с.
5. Майко И.М. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности нагретых зон РЭА / И.М. Майко, А.М. Синотин // Вопросы радиоэлектроники. ТРТО. – 1972. – № 2. – С. 23-25.
6. Майко И.М. О теплофизическом конструировании одноблочных радиоэлектронных аппаратов с заданным тепловым режимом / И.М. Майко, А.М. Синотин, Ю.М. Дединов // Вопросы радиоэлектроники. ТРТО. – 1974. – № 1. – С. 14-18.
7. Синотин А.М. Метод определения эффективных теплопроводностей сложных систем тел / А.М. Синотин, В.В. Семенец // АСУ и приборы автоматики. – 2004. – Вып. 127. – С. 48-52.
8. Тёмкин А.Г. Обратные методы теплопроводности / А.Г. Тёмкин. – М.: Энергия, 1973. – 464 с.
9. Мучник Г.Ф. Методы теории теплообмена. ч. 1 / Г.Ф. Мучник, И.Б. Рубашов. – М.: Высш. шк., 1970. – 288 с.

Поступила в редколлегию 28.03.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Авраменко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЕНТА ФОРМИ ОДНОБЛОКОВИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ

А.М. Сінотін, Т.А. Колеснікова

В статті приведені розрахункові залежності, які отримані з умови наближеної подібності температурних полів радіоелектронних апаратів. Приведена оцінка можливих помилок методу і способів їх зменшення для тіл з великою асиметрією форми.

Ключові слова: темп регулярного режиму, відносний коефіцієнт форми тіла, узагальнений критерій Біо, узагальнений критерій Фур'є, теплопровідність, нагріта зона.

METHOD OF COMPUTATION OF FORM COEFFICIENT OF UNIBLOCK VEHICLES RADIO ELECTRONIC

A.M. Sinotin, T.A. Kolesnikova

In the article the computation dependences got from the condition of close similarity I the temperature fields of vehicles radio electronic are presented. Estimation of possible errors of method and methods of their reduction for bodies from a large asymmetries form is resulted

Keywords: rate of the regular mode, relative coefficient of form of body, the generalized criterion Bio, generalized criterion fore, heat conductivity, heated area.