

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  $\Theta$  – относительная температура;

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

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

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

$\alpha$  – 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,  $\text{м}^3, \text{м}^2$ ;  
 $\tau$  – 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:

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

Подставляя значения  $N$  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  $\iota$ ;  $s = 6 \ell^2 \text{ м}^2; V = \ell^3 \text{ м}^3$ .

Из условия равновеликости объёмов

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

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

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.