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 подобии я температурных полей радиоэлектронных аппаратов. Приведена оценка возможных ошибок метода и способов их уменьшения для тел с большой ассиметрией 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 сек$^{-1}$- наряду с теплофизическими константами материала и среды необходимо знать коэффициент формы тела (нагретой зоны РЭА) К м^2.

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

Для тел сложной конфигурации получение таких зависимостей сопряжено, практически, с непреодолимыми математическими трудностями и К 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 К в данной работе был применён метод приближённого 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:

$$\hat{E}_{ø} = \frac{R_{ø}^2}{\pi^2};$$

$$\hat{E}_{ï} = \frac{\Delta_{ï}^2}{\pi^2}; \tag{1}$$

$$\hat{E}_{ö} = \frac{R_{ö}^2}{2,405}.$$

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:

$$\Theta = \Theta\left(Í\ , F_{0_{ê}}, \frac{r}{R_{ýò}}\right), \tag{2}$$

где Θ – относительная температура;

$Í = \frac{às\,K}{\lambda V}$ – обобщённый критерий Био;

$F_{0_{\hat{e}}} = \frac{\grave{a}\tau}{\hat{E}}$ – обобщённый критерий Фурье;

a, λ – температуропроводность и теплопроводность, $м^2$ /сек; Вт/м · град;

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

$\frac{r}{R_{\acute{y}\grave{o}}}$ – критерий местоположения;

$R_{эт}$ – определяющий размер ($R_{ст} = R_ш$; $R_ц$; $\Delta_п$), м;

V, s – объём и охлаждаемая поверхность, $м^3$, $м_2$;

τ - время, 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 одномерными;

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.

$$V_{эт} = V;\ a_{эт} = a;\ \lambda_{эт} = \lambda;\ \alpha_{эт} = \alpha. \qquad (3)$$

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 $r/R_{эт.}$ Сходственные моменты времени определяются из условия:

$$\tau_{эт} = A \cdot \tau, \qquad (4)$$

где $A = \frac{s}{s_{\acute{y}\grave{o}}}$ - 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:

$$H_{эт} = H;\ F_{0_{\hat{e}_{\acute{y}\grave{o}}}} = F_{0_{\hat{e}}} \qquad (5)$$

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

$$\tau_{эт} = 1/E \cdot \tau; \qquad (6)$$

$$E = s_{эт}/s, \qquad (7)$$

где $E = К/К_{эт}$ – относительный коэффициент формы.

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

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 Е и К на примере тела первой группы в форме куба со стороной $ι_м$; $s = 6\ \ell^2 м^2$; $V = \ell^3\ м^3$.

Из условия равновеликости объёмов

$$R_{эт} = R_ш = ι\sqrt[3]{3/4\pi}\ \ м;$$

$$S_{эт} = 4\pi R^2_{\acute{y}\grave{o}} = 4\pi ι^2 \sqrt[3]{\frac{9}{16\pi^2}}\ \ м^2;$$

по формуле (1)

$$К_{эт} = К_ш = \frac{\ell^2}{\pi^2}\sqrt[3]{\frac{9}{16\pi^2}}\ м^2;$$

из (7)

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

$$К = EК_{эт} = 0{,}81\frac{\ell^2}{\pi^2}\sqrt{\frac{9}{16\pi^2}} = 0{,}032\,\ell^2\ \ м^2.$$

В табл. 1 приведены значения Е 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.	δε·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 Е этих же тел, полученные экспериментально или по точным расчётным формулам [3].

Анализ таблицы показывает, что расчёт относительного коэффициента формы Е 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 $K_{эт}$ 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 натурных 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. Детинов // 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. Тумкин. – 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 КОЕФІЦІЄНТА ФОРМИ ОДНОБЛОКОВИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ

А.М. Сінотін, Т.А. Колєснікова

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.*