

УДК 658.51.011.56

А.М. Синотин, Т.А. Колесникова

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЁМА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ НА МАКСИМАЛЬНЫЙ ПЕРЕГРЕВ

Приведены результаты исследования влияния объёма нагретой зоны радиоэлектронного аппарата на его максимальный перегрев.

**Ключевые слова:** нагретая зона, анизотропность по теплопроводности, кондуктивные теплостоки, эффективная теплопроводность, коэффициент теплопередачи.

### Введение

**Актуальность.** Проектирование современных аппаратов, наряду с разработкой электрических схем, требует жёсткого учёта температурного режима будущей конструкции. Это ставит перед конструктором задачу осуществлять теплофизическое проектирование на всех стадиях разработки надёжной, экономичной, малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Попытка эмпирического поиска приемлемого варианта конструкций становится экономически неоправданной.

Неправильное размещение одного элемента можно легко выявить и устранить в процессе температурных испытаний (поверочных расчётов) готовой конструкции. Устранение ошибок в общей компоновке элементов требует дополнительных производительных затрат для переработки всей конструкции аппарата. Это ставит перед конструктором задачу обеспечения нормального теплового режима элементов на всех стадиях разработки аппарата.

**Цель исследования.** Установление характера влияния формы объёма аппарата на температурный режим созданной конструкции.

**Постановка задачи.** Литературные источники по теплофизическому проектированию РЭА с заданным тепловым режимом представлены, главным образом, журнальными статьями. Основные разработки направлены на выбор и оптимальное использование воздушных систем охлаждения. Монографии по общему проектированию РЭА предусматривают только поверочные расчёты температурных полей. Теплофизическое проектирование проводится на основе многократных расчётов при различных значениях параметров, т.е. используется метод проб и ошибок. В данной статье приведены результаты исследования влияния формы нагретой зоны на максимальный перегрев аппарата.

### Основной материал

Влияние объёма аппарата на максимальный перегрев прибора можно выразить через так называемый начальный параметр  $F_0$

$$F_0 = \frac{P_0}{\vartheta_0} \cdot \frac{1}{4\lambda \cdot \sqrt[3]{V}} \cdot \frac{0,82A_0^3}{3\mu_0^2}; \quad (1)$$

$$Bi_0 = \frac{K_0}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{V}, \quad (2)$$

где  $P_0$  – суммарная мощность источников тепла, Вт;  $\vartheta_0$  – максимальный допустимый перегрев прибора, град;  $\lambda_0$  – эффективная теплопроводность при отсутствии теплостоков при газовом наполнителе, Вт/м.град;  $V_0$  – объём нагретой зоны, м<sup>3</sup>;  $A_0, \mu_0$  – амплитуда и собственные значения характеристического уравнения при  $Bi_0$ ;  $K_0$  – средний поверхностный коэффициент теплопередачи Вт/м<sup>2</sup> · град.

Начальный параметр  $F_0$  характеризует тепловой режим следующей конструкции РЭА:

– нагретая зона имеет форму куба

$$(\xi_{X_0} = \xi_{Y_0} = \xi_{Z_0} = 1),$$

где  $\xi_{i_0} = 2I_{\min} / 2I_i$ ,  $i = X, Y, Z$ ; (3)

– анизотропность по теплопроводности в объёме и теплообмену на поверхностях отсутствует

$$(\lambda_X = \lambda_Y = \lambda_Z = \lambda_0; K_X = K_Y = K_Z = K_0);$$

– кондуктивные теплостоки отсутствуют

$$(\lambda_{\max} = \lambda_0);$$

– мощность источников тепла распределена равномерно.

На рис. 1 приведена зависимость параметра  $F_0 \cdot \vartheta_0 / P_0 \cdot 10^2$  от объёма нагретой зоны прибора и коэффициента теплопередачи  $K_0$ , характеризующего систему поверхностного охлаждения для аппаратов с эффективной теплопроводностью  $\lambda_0 = 0,2$  Вт/м · град [1]. Из графиков следует, что начальный параметр  $F_0$  можно минимизировать за счет уменьшения отношения  $P_0 / \vartheta_0$ , увеличения объёма нагретой зоны  $V$  и интенсивности поверхностного теплообмена  $K_0$ . Рассмотрим каждый фактор в отдельности. Уменьшение отношения  $P_0 / \vartheta_0$  вы-

зывает определенные требования к разработке электрической схемы аппарата.

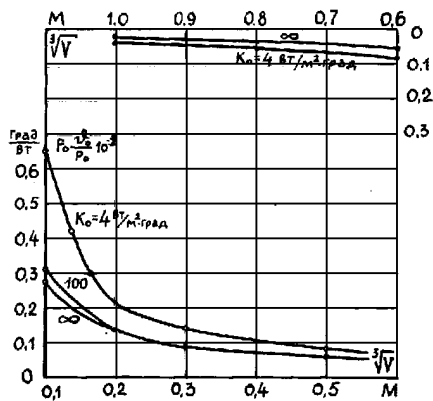


Рис. 1. Зависимость начального параметра  $F_0$  от объёма нагретой зоны ( $\sqrt[3]{V}$ ) и интенсивности поверхностного теплообмена  $K_0$  при  $\lambda_0 = 0,2 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$

Для реализации схемных решений целесообразно выбирать элементную базу с наименьшей потребляемой мощностью и материалы с высокой температуростойкостью. В случае необходимости использования отдельных элементов с малой допустимой температурой перегрева  $\vartheta_0$  целесообразно выделять эти элементы в самостоятельную группу, чтобы не усложнять обеспечение заданного теплового режима конструкции прибора в целом. Это замечание очень важно учитывать при выборе элементной базы электрической схемы, так как после задания конструктору электрической схемы он лишен возможности влиять на фактор рассеиваемой мощности и температуростойкости элементов схемы.

Анализ зависимостей (рис. 1) показывает, что для одноблочных кубических конструкций аппаратов с размером  $\sqrt[3]{V} \geq 0,5 \text{ м}$  минимизация начального параметра  $F_0$  за счет увеличения объема нагретой зоны (плотности размещения элементов) и перехода к более интенсивной системе поверхностного охлаждения  $K_0 = \infty$  становится практически невозможной.

Наоборот, для конструкций размером  $\sqrt[3]{V} \leq 0,5 \text{ м}$  увеличение объема и рост  $K_0$  приводят к уменьшению  $F_0$  в три раза при  $\sqrt[3]{V} = 0,1 \text{ м}$  и на 50% при  $\sqrt[3]{V} = 0,3 \text{ м}$  за счет изменения  $K_0$  от  $4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$  до  $\infty$ . Практически уже при  $K_0 \geq 100 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$  наступает предельный случай, т.е. для аппаратов с газовым заполнением (с малой эффективной теплопроводностью  $\lambda_0 = 0,2 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$ ) нецелесообразно использовать жидкостные и другие более эффективные системы поверхностного охлаждения.

Предельная минимизация  $F_0$  может быть осуществлена за счет применения вынужденного

конвективного воздушного охлаждения ( $\alpha = 10\text{--}100 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$ ) [3].

Коэффициент теплопередачи

$$K_0 = \frac{K^1 S_k / S}{1 + K^1 S_k / \alpha S}, \quad (4)$$

где  $K_0$  – коэффициент теплообмена через газовую прослойку от нагретой зоны к кожуху,  $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ ;  $\alpha$  – коэффициент теплообмена между поверхностью кожуха и окружающей средой,  $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ ;  $s_k, s$  – площади поверхностей кожуха и нагретой зоны,  $\text{м}^2$ .

Анализ выражения (4) и значений коэффициентов теплообмена для различных типов систем охлаждения [3] позволяет наметить два пути увеличения  $K_0$  для минимизации параметра  $F_0$  и синтеза конструкции с заданным тепловым режимом по максимальному перегреву. Первый путь – чисто конструктивный при небольших значениях  $K_0$ , т.е. для радиоэлектронных аппаратов, предназначенных функционировать в условиях естественного охлаждения воздухом.

Расчеты большого количества конструкций приборов [2] показали, что имеет место равенство проводимостей между нагретой зоной и кожухом, а также с окружающей средой:

$$K^1 \cdot S \approx \alpha \cdot S_k. \quad (5)$$

После подстановки (5) в (4) получим  $K_0 = \alpha \cdot S_k$ , т.е. применение кожуха практически в 2 раза снижает эффективность поверхностного охлаждения.

При совмещении кожуха аппарата с нагретой зоной ( $S_k = S$ ),  $K^1 \rightarrow \infty$  и  $K_0 = K$ .

Таким образом, чисто конструктивным путем, совмещая кожух прибора с нагретой зоной, можно увеличить  $K_0$  в два раза (рис. 2). При этом следует обеспечить хороший тепловой контакт между нагретой зоной и кожухом, например, применяя высокотеплопроводные пасты в стыках между платами (шасси), гранями кожуха и т.д. Рассмотренный метод наиболее эффективен тогда, когда требуется сохранить герметичность (пылезащищенность) аппаратуры.

Можно пойти и другим конструктивным путем: уменьшить влияние кожуха на интенсивность теплостоков за счет нарушения герметичности и обеспечения непосредственного контакта нагретой зоны с охлаждающим воздухом через перфорационные (жалюзи) отверстия. Тогда выражение для  $K_0$  в первом приближении примет вид

$$K_0 = K_0^1 (1 + S_{\text{пер}} / S_k), \quad (6)$$

где  $S_{\text{пер}}$  – площадь перфорационных отверстий,  $\text{м}^2$ ;  $K_0$  – определяется выражением (6) при  $S_{\text{пер}} = 0$ . Отношение  $S_{\text{пер}} / S_k$  называется коэффициентом

перфорации. Более строгий учет перфорации приведен в работе [3]. Практически уже при  $S_{\text{пер.}}/S_K = 0,5 - 0,6$  значение  $K_0$  близко к  $K_0^*$  т.е. достигается предельный эффект минимизации  $F_0$ .

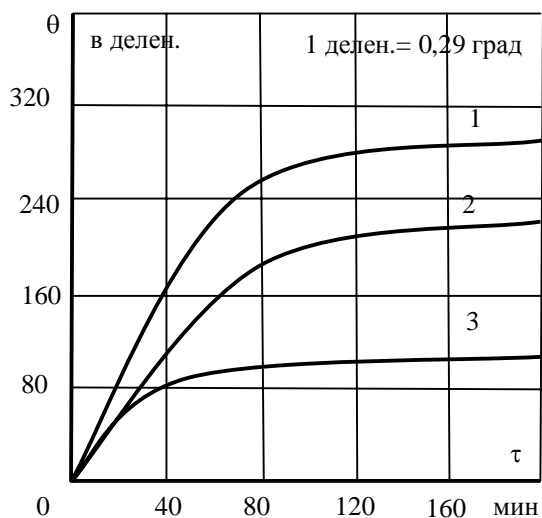


Рис. 2. Значение температуры в центральной точке нагретой зоны: 1 – при отсутствии теплостоков; 2 – при наличии теплостоков; 3 – при выводе теплостоков на кожух

Рассмотренные конструктивные методы не позволяют существенно изменять коэффициент теплопередачи  $K$ . Для существенного изменения интенсивности теплообмена на поверхности нагретой зоны необходим переход от естественного к вынужденному поверхностному охлаждению путем продувки воздуха, т.е., требуются дополнительные изменения в конструкции аппарата. При этом, согласно равенству (2), необходимо либо одновременно увеличить интенсивность теплообмена между нагретой зоной и кожухом ( $K^1$ ), кожухом и окружающей средой ( $\alpha$ ), либо предварительно совместить кожух с нагретой зоной ( $K^1 \rightarrow \infty$ ). В противном случае рост  $K_0$  будет незначительным, несмотря на существенное увеличение  $\alpha$ . Таким образом, во втором пути минимизации за счет увеличения  $K_0$  предусматривается переход к новой системе охлаждения с предварительным совмещением кожуха с нагретой зоной, особенно в конструкциях с плотным монтажом.

Увеличение объема нагретой зоны за счет уменьшения плотности размещения элементов находится в противоречии с требованием минимизации размеров конструкции, поэтому может быть применено только в том случае, когда отсутствуют жесткие ограничения на размеры конструкции в техническом задании.

Практически изменение объема в 8 раз (на участке  $\sqrt[3]{V} < 0,5$  м) приводит к уменьшению  $F_0$  в три раза при  $K_0 = 4$  Вт/м $\cdot$ град и в два раза при  $K_0 = \infty$  (рис. 2). Такое изменение объема может быть осуществлено за счет перехода от монтажа высокой плотности ( $\eta_M \geq 1$ ) к монтажу малой ( $\eta_M \approx 1$ ).

## Выводы

1. Эффективная минимизация начального параметра может быть осуществлена для конструкций аппаратов с линейным размером меньше 0,5 м, за счет перехода к малой плотности или увеличения эффективности системы поверхностного охлаждения. Для конструкций с линейным размером больше 0,5 м минимизация начального параметра практически невозможна.

2. Установлено, что переход к конструкции в форме квадратного "бруса" обеспечивает наиболее эффективную минимизацию параметра формы. Степень минимизации возрастает с ростом эффективности системы охлаждения аппарата.

## Список литературы

1. Майко И.М. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности нагретых зон радиоэлектронных аппаратов / И.М. Майко, А.М. Синотин // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. – 1972. – Вып. 2. – С. 13-17.
2. Майко И.М. О теплофизическом конструировании одноблочных радиоэлектронных аппаратов с заданным тепловым режимом / И.М. Майко, Ю.М. Детинов, А.М. Синотин // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. – 1974. – Вып. 1. – С. 80-87.
3. Дульнев Г.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры / Г.Н. Дульнев, Н.Н. Тарновский. – Л.: Энергия, 1971. – 248 с.

Поступила в редколлегию 3.12.2010

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБ'ЄМУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ НА МАКСИМАЛЬНИЙ ПЕРЕГРІВ

А.М. Синотін, Т.А. Колесникова

Приведені результати дослідження впливу об'єму нагрітої зони радіоелектронного апарату на його максимальний перегрів.

**Ключові слова:** нагріта зона, анізотропія по теплопровідності, кондуктивні теплостоки, коефіцієнт теплопередачі.

## RESEARCH OF INFLUENCING OF VOLUME OF VEHICLES RADIO ELECTRONIC ON MAXIMAL OVERHEAT

A.M. Sinotin, T.A. Kolesnikova

The results of research of influencing of volume of the heated area of vehicle radioelectronic on his maximal overheat are resulted.

**Keywords:** the heated area, anisotropy on heat conductivity, conducted heat flows, coefficient of heat transfer.