

В.В. Семенец, А.М. Синотин, Т.А. Колесникова, С.В. Сотник, Н.Г. Стародубцев

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МАКСИМАЛЬНОГО ПЕРЕГРЕВА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО АППАРАТА ОТ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

Приведены результаты экспериментальных исследований, по которым разработана методика проектирования радиоэлектронного аппарата, обеспечивающая нормальный его тепловой режим при эксплуатации. Даны рекомендации по размещению тепловыделяющих элементов в нагретой зоне радиоэлектронного аппарата, по выбору элементной базы. Исследовано влияние различных конструктивных параметров на его тепловой режим. Приведены рекомендации по расчету температурных полей в процессе проектирования отдельных частей аппарата, что позволит более точно проводить расчёты электрических и магнитных цепей, а также откроет возможности экономического обоснования того или иного варианта конструкции.

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

Введение

Актуальность. Конструирование современных радиоэлектронных аппаратов (РЕА), наряду с разработкой электрических схем, предъявляет жесткие требования к температурному режиму будущей конструкции, которые и определяют в значительной степени надежность их работы [1–7]. Это ставит перед разработчиками задачу обеспечения нормального теплового режима элементов на всех стадиях проектирования конструкции аппарата. Особенно заставляет обращать внимание разработчиков на тепловые режимы аппаратуры в связи с ее микроминиатюризацией [8–10].

Специалисты, занимающиеся проектированием радиоэлектронной аппаратуры, всё больше обращают внимание на их тепловые режимы. Интерес к этой задаче объясняется следующими причинами. Значительная часть различных форм энергии в радиоэлектронном аппарате превращается в тепловую, что приводит к повышению температуры деталей в аппарате. Известно, что надежность деталей падает с повышением их температуры.

Увеличение температуры в аппарате вызывает ухудшение изоляционных свойств отдельных материалов, изменение плотности и подвижности носителей тока в полупроводниках, снижение индуктивности насыщения в сердечниках, общее увеличение интенсивности старения материалов и т.д. [11–16]. Все эти факторы могут привести к искажению сигналов на выходе аппарата или даже к выходу аппарата из строя. Следовательно, нормальный тепловой режим радиоэлектронного аппарата является необходимым (но не единственным) условием его надежной работы.

Для обеспечения нормального теплового режима аппарата следует пытаться выбрать оптимальную систему его охлаждения и габариты, определенным образом разместить отдельные части аппарата относительно друг от друга. Таким образом, конструкция радиоэлектронного аппарата во многом определяется его тепловым режимом.

Все эти факторы заставляют всё большее число специалистов склоняться к мнению о том, что в настоящее время расчёты тепловых полей радиоэлектронных аппаратов становятся столь же необходимыми, как и расчеты электрических и магнитных полей.

Очевидно, этим объясняется большое число отечественных и зарубежных исследований, посвящённых анализу теплового режима различных радиоэлектронных аппаратов. В то же время при разработке конструкции аппарата конструктор редко может почерпнуть из литературы научно обоснованный метод расчёта его теплового режима, и вынужден прибегать к старому, но испытанному методу проб и ошибок, который после трудоёмких и мучительных поисков позволяет остановиться на той или иной конструкции аппарата.

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 непроизводительных затрат для переработки всей конструкции аппарата. Это ставит перед конструктором задачу обеспечения нормального теплового режима элементов на всех стадиях разработки аппарата.

По-видимому, этим объясняется большое число отечественных и зарубежных исследований, посвя-

щённых анализу теплового режима различных радиоэлектронных аппаратов.

Накопленный к настоящему времени опыт работы позволяет сделать следующий вывод: возможно создать метод расчёта теплового режима любой конструкции радиоэлектронного аппарата, находящегося в различных условиях эксплуатации, и получить при этом удовлетворительную для практических целей результат по обеспечению нормального теплового режима проектируемой конструкции.

Цель исследования. Установление характера влияния параметров 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 параметров нагретой зоны на максимальный перегрев аппарата.

Изложение основного материала

Влияние параметров аппарата на максимальный перегрев аппарата можно выразить через так называемый начальный параметр F_0 :

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

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

где P_0 – суммарная мощность источников тепла, Вт; ϑ_0 – максимальный допустимый перегрев прибора, град; λ_0 – эффективная теплопроводность при отсутствии теплостоков при газовом заполнителе, Вт/м · град; V_0 – объём нагретой зоны, м³; A_0, μ_0 – амплитуда и собственные значения характеристического уравнения при Bi_0 ; K_0 – средний поверхностный коэффициент теплопередачи Вт/м² · 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 / ϑ_0 , увеличения объёма нагретой зоны V и интенсивности поверхностного теплообмена K_0 .

Рассмотрим каждый фактор в отдельности. Уменьшение отношения P_0 / ϑ_0 вызывает определенные требования к разработке электрической схемы аппарата.

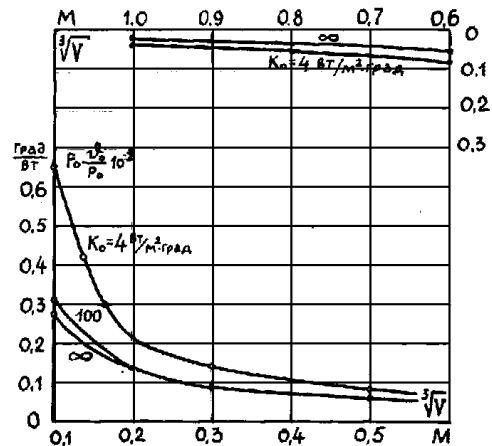


Рис. 1. Зависимость начального параметра F_0 от объёма нагретой зоны ($\sqrt[3]{V}$) и интенсивности поверхностного теплообмена K_0 при $\lambda_0 = 0,2$ Вт / м · град

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 ϑ_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 $\sqrt[3]{V} \geq 0,5$ 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 $\sqrt[3]{V} \leq 0,5$ м увеличение объема и роста K_0 приводят к уменьшению F_0 в три раза при $\sqrt[3]{V} = 0,1$ м и на 50% при $\sqrt[3]{V} = 0,3$ м за счет изменения K_0 от 4 Вт/м²·град до ∞ . Практически уже при $K_0 \geq 100$ Вт/м²·град наступает предельный случай, т.е. для аппаратов с газовым заполнением (с малой эффективной теплопроводностью $\lambda_0 = 0,2$ Вт/м·град) нецелесообразно использовать жидкостные и другие более эффективные системы поверхностного охлаждения (табл. 1).

Таблица 1
Значения вынужденного конвективного воздушного охлаждения для разных систем охлаждения

Номер	Тип систем охлаждения	$\alpha = \text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$
1	Суммарное действие естественной конвекции и излучения при изменении степени черноты от 0 до 1 в воздухе	5–10
2	Вынужденная конвекция в воздухе (газах путём обдува поверхности с различной скоростью)	10–100
3	Естественная конвекция в масле или в жидкостях той же плотности	200–300
4	То же в воде	200–600
5	Вынужденная конвекция в масле То же в воде	300–1000
6	Кипение воды на поверхности охлаждения	1000–3000

Предельная минимизация F_0 может быть осуществлена за счет применения вынужденного конвективного воздушного охлаждения ($\alpha = 10\text{--}100$ Вт/м²·град) (табл. 1).

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, Вт/м²·град; α – коэффициент теплообмена между поверхностью кожуха и окружающей средой, Вт/м²·град; S_k, S – площади поверхностей кожуха и нагретой зоны, м².

Анализ выражения (4) и значений коэффициентов теплообмена и табл. 1 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,

$$K_0 = \alpha \cdot S_k, \quad (6)$$

т.е. применение кожуха практически в 2 раза снижает эффективность поверхностного охлаждения.

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

$$K_0 = K. \quad (7)$$

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 (пылезащищённость) радиоэлектронной 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

$$K_0 = K_0^* \cdot (1 + S_{\text{пер}} / S_k), \quad (8)$$

где $S_{\text{пер}}$ – площадь перфорационных отверстий, м²; K_0 – определяется выражением (8) при $S_{\text{пер}} = 0$.

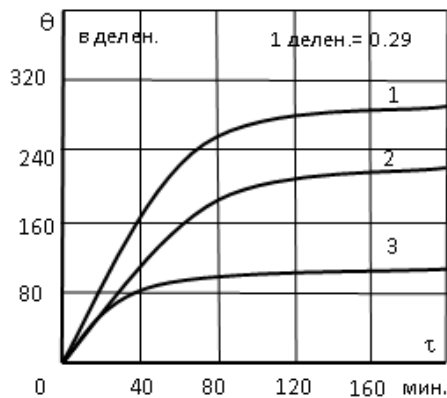


Рис. 2. Значение температуры в центральной точке нагретой зоны
 1 – при отсутствии теплостоков;
 2 – при наличии теплостоков;
 3 – при выводе теплостоков на кожух

Более строгий учет перфорации приведен в работе [3]. Практически уже при $S_{пер} / S_k = 0,5-0,6$ значение K_0 близко к передачи K_0 . Для существенного изменения интенсивности теплообмена на поверхности нагретой зоны необходим переход от естественного к вынужденному поверхностному охлаждению путем продувки воздуха (табл. 1), 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 (α), либо предварительно совместить кожух с нагретой зоной ($K^1 \rightarrow \infty$). В противном случае рост K_0 будет незначительным, несмотря на существенное увеличение

α . Таким образом, на 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 $K_0 = \infty$. Такое изменение объема может быть осуществлено за счет перехода от монтажа высокой плотности ($\eta_m \geq 1$) к монтажу малой плотности ($\eta_m \approx 1$).

Выводы

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

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

Список литературы

1. Майко И.М. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности нагретых зон радиоэлектронных аппаратов / И.М. Майко, А.М. Синотин // Вопрос радиоэлектроники, Сер. ТРТО. – 1972. – № 2. – С. 13-17.
2. Майко И.М. О теплофизическом конструировании одноблочных радиоэлектронных аппаратов с заданным тепловым режимом / И.М. Майко, А.М. Синотин // Вопрос радиоэлектроники, Сер. ТРТО. – 1974. – № 1. – С. 50-87.
3. Синотин А.М. Исследование точности метода многих точек для определения теплопроводности анизотропных материалов / А.М. Синотин // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2004. – № 129. – С. 37-40.
4. Дульне Ж.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры / Ж.Н. Дульне, Н.Н. Тарновский. – Санкт Петербург: Энергия, 1971. – 245 с.
5. Луков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Луков. – Москва: Госэнергоиздат, 1952. – 392 с.
6. Николаенко Ю.Е. Схемные решения организации теплопровода от функциональных модулей ЭВМ с помощью двухфазных теплопередающих элементов и устройств / Ю.Е. Николаенко // Управленческие системы и машины. – 2005. – № 2. – С. 29-37.
7. Шелест В.И. Концептуальный алгоритм теплофизического проектирования радиоэлектронных средств / В.И. Шелест, А.С. Кондрашов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2003. – № 5. – С. 26-27.
8. Чернышов А.А. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплотерии / А.А. Чернышов, В.И. Иванов // Приборостроение. – 2003. – № 5. – С. 67-71.
9. Мешков С.Н. Расчет и моделирование тепловых полей создаваемых нагревателями для активного неразрушающего контроля / С.Н. Мешков, А.А. Гаптракинов // Радиотехника. – 2002. – № 129. – С. 173-178.
10. Кондрашов И.С. Моделирование тепловых режимов активных компонентов электронных модулей / И.С. Кондрашов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006. – № 2. – С. 43-44.

11. Усов В.В. Исследование анизотропии теплопроводности деформированных медных пластин / В.В. Усов, Н.М. Шкатуляк // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2004. – № 5. – С. 51-53.
12. Кравец В.Ю. Исследование теплопередающих характеристик радиаторов с оребрением на основе миниатюрных тепловых труб / В.Ю. Кравец, Ю.Е. Николаенко // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2004. – No. 3. – С. 45-47.
13. Письменный Е.Н. Влияние разрезки, поворотов и отгибки ребер на теплоаэродинамические характеристики поверхности теплообмена / Е.Н. Письменный, В. Бурлей // *Теплотехника*. – 2003. – № 5. – С. 10-16.
14. Исмаилов Т.А. Температурное поле электронной платы внутри герметичного радиоэлектронного блока кассетной конструкции / Т.А. Исмаилов, Ш.А. Юсуфов // *Приборостроение*. – 2004. – № 7. – С. 21-25.
15. Исмаилов Т.А. Моделирование процессов теплообмена в термоэлектрическом устройстве для охлаждения электронной аппаратуры / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов // *Приборостроение*. – 2002. – № 7. – С. 58-62.
16. Ярышев Н.А. Расчет температуры однородного объекта при конвективном теплообмене / Н.А. Ярышев // *Приборостроение*. – 2000. – № 4. – С. 61-66.

References

1. Mayko, I.M. and Sinotin, A.M. (1972), “Eksperimentalnoye opredeleniye effektivnoy teploprovodnosti nagretykh zon radioelektronnykh apparatov” [Experimental determination of the effective thermal conductivity of the heated zones of electronic equipment], *Voprosy radioelektroniki. Ser. TRTO*, No. 2, pp. 13-17.
2. Mayko, I.M. and Sinotin, A.M. (1974), “O teplofizycheskom konstruirovannyi odnoblochnykh radyotektronnykh apparatov s zadannym teplovym rezhimom” [About thermophysical design of single-block radio-electronic devices with a given thermal regime], *Voprosy radioelektroniki. Ser. TRTO*, No. 1, pp. 50-87.
3. Sinotin, A.M. (2004), “Issledovanie tochnosti metoda mnogih tochek dlya opredeleniya teploprovodnosti anizotropnykh materialov” [Investigation of the accuracy of the multi-point method for determining the thermal conductivity of anisotropic materials], *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory avtomatiki*, No. 129, pp. 37-40.
4. Dulne, G.N. and Tarnovskiy, N.N. (1971), “Teplovyye rezhimy elektronnoy apparatury” [Thermal modes of electronic equipment], *Energiya, Sankt Peterburg*, 245 p.
5. Lykov, A.V. (1952), “Teoriya teploprovodnosti” [Heat conduction theory], *Gosenergoizdat, Moscow*, 392 p.
6. Nikolaenko, Yu.E. (2005), “Shemnyye resheniya organizatsii teplotovoda ot funktsionalnykh moduley EVM s pomoschyu dvuhfaznykh teploperedayuschih elementov i ustroystv” [Schematic solutions for the organization of the heat sink from the functional modules of the computer using two-phase heat transfer elements and devices], *Upravlyayushchie sistemy i mashiny*, No. 2, pp. 29-37.
7. Shelest, V.I. and Kondrashov, A.S. (2003), “Kontseptualnyy algoritm teplofizycheskogo proektirovaniya radioelektronnykh sredstv” [Conceptual algorithm of thermophysical design of radio-electronic means], *Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, No. 5, pp. 26-27.
8. Chernyishyov, A.A. and Ivanov, V.I. (2003), “Metody parametricheskoy identifikatsii v nestatsionarnoy teplometrii” [Parametric identification methods in non-stationary calorimetry], *Priborostroenie*, No. 5, pp. 67-71.
9. Meshkov, S.N. and Gaptrakinov, A.A. (2002), “Raschyot i modelirovaniye teplovykh poley sozdavaemykh nagrevatelyami dlya aktivnogo nerazrushayushchego kontrolya” [Calculation and modeling of thermal fields generated by heaters for active non-destructive testing], *Radiotekhnika*, No. 129, pp. 173-178.
10. Kondrashov, I.S. (2006), “Modelirovaniye teplovykh rezhimov aktivnykh komponentov elektronnykh moduley” [Simulation of thermal modes of active components of electronic modules], *Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, No. 2, pp. 43-44.
11. Usov, V.V. and Shkатуляк, N.M. (2004), “Issledovanie anizotropii teploprovodnosti deformirovannykh mednykh plastin” [Investigation of the anisotropy of thermal conductivity of deformed copper plates], *Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, No. 5, pp. 51-53.
12. Kravets, V.Yu. and Nikolaenko, Yu.E. (2004), “Issledovanie teploperedayuschih harakteristik radiatorov s orebreniem na osnove miniatyurnykh teplovykh trub” [Investigation of heat transfer characteristics of radiators with fins based on miniature heat pipes], *Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, No. 3, pp. 45-47.
13. Pismennyiy, E.N. and Burley, V. (2003), “Vliyaniye razrezki, povorotov i otgibki ryober na teploaerodinamicheskie harakteristiki poverhnostey teploobmena” [Influence of cutting, turning and bending edges on the heat and aerodynamic characteristics of heat transfer surfaces], *Teploetehnika*, No. 5, pp. 10-16.
14. Ismailov, T.A. and Yusufov, Sh.A. (2004), “Temperaturnoe pole elektronnoy platyi vnutri germetichnogo radioelektronnogo bloka kassetnoy konstruksii” [Temperature field of the electronic circuit board inside the sealed radio-electronic unit of a cassette design], *Priborostroenie*, No. 7, pp. 21-25.
15. Ismailov, T.A. and Evdulov, O.V. (2002), “Modelirovaniye protsessov teploobmena v termoelektricheskom ustroystve dlya ohlazhdeniya elektronnoy apparatury” [Simulation of Heat Exchange Processes in a Thermoelectric Device for Electronics Cooling], *Priborostroenie*, No. 7, pp. 58-62.
16. Yaryshev, N.A. (2000), “Raschyot temperatury odnorodnogo ob'ekta pri konvektivnom teploobmene” [Calculation of the temperature of a homogeneous object during convective heat transfer], *Priborostroenie*, No. 4, pp. 61-66.

*Поступила в редколлегию 19.09.2018
Одобрена к печати 11.12.2018*

Відомості про авторів:**Семенець Валерій Васильович**

доктор технічних наук професор
Харківського національного університету
радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8969-2143>

Сіногін Анатолій Мефодійович

доктор технічних наук професор
Харківського національного університету
радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0205-7572>

Колеснікова Тетяна Анатоліївна

кандидат технічних наук доцент
Харківського національного університету
радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0571-5895>

Сотник Світлана Вікторівна

кандидат технічних наук доцент
Харківського національного університету
радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7856-5771>

Стародубцев Микола Григорович

кандидат технічних наук доцент
Харківського національного університету
радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6035-2388>

Information about the authors:**Valerii Semenets**

Doctor of Technical Sciences Professor
of Kharkiv National University
of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8969-2143>

Anatolii Sinotin

Doctor of Technical Sciences Professor
of Kharkiv National University
of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0205-7572>

Tatayna Kolesnykova

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
of Kharkiv National University
of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0571-5895>

Svetlana Sotnik

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
of Kharkiv National University
of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7856-5771>

Nikolaj Starodubcev

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
of Kharkiv National University
of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6035-2388>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МАКСИМАЛЬНОГО ПЕРЕГРІВУ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО АПАРАТУ ВІД ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

V. В. Семенець, А. М. Сіногін, Т. А. Колеснікова, С. В. Сотник, М. Г. Стародубцев

Приведені результати експериментальних досліджень, по яких розроблена методика проектування радіоелектронного апарату, яка забезпечує його нормальний тепловий режим при експлуатації. Дані рекомендації по розміщенню тепловідділюючих елементів в нагрітій зоні радіоелектронного апарату, по вибору елементної бази. Вплив різних конструктивних параметрів на його тепловий режим. Нарешті, уміння розраховувати в процесі проектування температури окремих частин апарату дозволить більш точно проводити розрахунки електричних і магнітних ланцюгів, а також відкріє можливості економічного обґрунтування того або іншого варіанту конструкції.

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

RESEARCH OF THE RADIO ELECTRONIC APPARATE HEATING DEPENDENCE FROM ITS PARAMETERS

V. Semenets, A. Sinotin, T. Kolesnikova, S. Sotnik, N. Starodubtsev

The paper discusses the issues of thermal conditions in electronic equipment. The factors that have the maximum effect on the temperature rise of parts in electronic equipment are briefly considered. The results of experimental studies, which developed a methodology for designing a radio-electronic apparatus that provides its normal thermal conditions during operation, are presented. Efficient surface cooling systems are given. Also, the paper presents the calculated ratios for determining heat transfer coefficients; heat transfer coefficient through the gas layer from the heated zone to the casing with a known heat transfer coefficient between surface of casing and environment. The dependences of initial parameter on volume of heated zone and intensity of surface heat transfer are given. The dependences of temperature value at the central point of heated zone are given: in the absence of heat sinks; in the presence of heat; with the withdrawal of heat to the housing. It was determined that for the implementation of circuit solutions, it is advisable to choose element base with the lowest power consumption and materials with high temperature resistance. An increase in the volume of heated zone due to a decrease in the density of elements contradicts placement of dimensions minimizing requirement the structure, therefore it can be applied only in the case when there are no rigid restrictions on the dimensions of the structure in the technical specification. Recommendations on the placement of fuel elements in the electronic device heated zone, choice of the element base. The influence of various design parameters on its thermal regime. The given recommendations on the calculation of temperature fields in the process of designing individual device parts, which will allow more accurate calculations of electrical and magnetic circuits, as well as open the possibility of economic justification of a particular design variant.

Keywords: heated zone, anisotropic thermal conductivity, conductive heat drains, effective thermal conductivity, heat transfer coefficient.