

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ТЕЛ ПРОСТЕЙШЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В РАЗРЕЖЕННОЙ СРЕДЕ

Описываются экспериментальные исследования по изучению влияния степени черноты поверхности на тепловой режим тел простейшей геометрической формы, функционирующих в разреженной среде.

1. Актуальность

Постоянное усложнение радиоэлектронной аппаратуры вызвано значительным расширением областей её применения и непрерывным внедрением новых достижений в науке и технике.

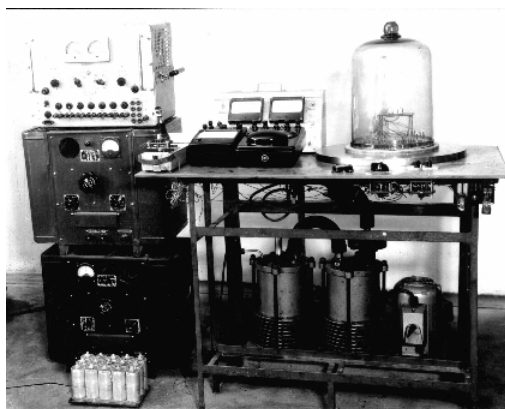
Надёжность работы радиоэлектронной аппаратуры, как известно, зависит от многих факторов: конструктивного исполнения, применения новейших разработанных элементов и узлов, новейших технологических процессов, условий эксплуатации в разных климатических зонах, влияния внешних факторов. Но одно из наибольших воздействий на стабильность параметров радиоэлектронной аппаратуры оказывает температура. Поэтому без поддержания заданного температурного режима трудно обеспечить длительную работоспособность, а также необходимую надёжность радиоэлектронного оборудования и его элементов [1-6].

При исследовании температурных полей сложных систем (каковыми являются все радиоэлектронные аппараты) приходится иметь дело с радиоэлементами, обладающими различной степенью черноты. Поэтому цель исследования – изучить влияние степени изменения черноты радиоэлементов на температурное поле функционирующего аппарата в условиях пониженного давления.

2. Постановка задачи

Путём экспериментального исследования изучить влияние степени черноты поверхности на тепловой режим тел простейшей геометрической формы (цилиндр конечных размеров, шар), функционирующих в разреженной среде. Для решения поставленной задачи была создана экспериментальная установка.

Она состоит из (рисунки):



Экспериментальная установка

1. Двухступенчатого пластинчато-роторного форвакуумного насоса типа Z - 30 производительностью 30 м³/ч до разрежения 5·10⁻⁴ мм рт. ст.
2. Вакуумной камеры.

3. Опорной плиты, через сверления в которой пропускались 44 герметичных разъёма:
- кольцевая прокладка толщиной 10 мм, изготовленная из вакуумной резины;
 - сменные стеклянные вакуумные колпаки с размерами: $D=250$ мм и $h=450$ мм; $D=450$ мм и $h=725$ мм;
 - пульт управления, на котором был смонтирован вакуумметр ВИТ – 1А- П;
 - зеркальный миллиамперметр типа МА-011/5 (ГОСТ1845 – 62);
 - зеркальный вольтметр типа М – 45 (ГОСТ 1845 – 62);
 - переключатель термодпар двухполюсный на 30 положений;
 - термометр со шкалой $-20^0 \div +20^0$;
 - зеркальный гальванометр типа ГЗП – 47 (ГОСТ 1845 – 65).

Вакуум измерялся термодпарной манометрической лампой типа ЛТ – 2 (ТУ – СУЗ 390 000 ТУ), входящей в комплект прибора ВИТ – А – П.

Опытное тело было выполнено в виде шара – электрокалориметра. Температурное поле поверхности шара по сравнению с поверхностью цилиндра имеет равномерный характер распределения температурного поля.

Неравномерность температурного поля шара составляла $\pm 3 \div 6$ °С. Опытный шар, изготовленный из латуни, имел диаметр 40,25 мм. Для размещения нагревательного элемента было предусмотрено специальное цилиндрическое отверстие в теле шара. Нагреватель помещался внутри шара, отверстия закрывались крышками, выполненными из латуни. Степень черноты составляла $\varepsilon \approx 0,22$. Для установления влияния степени черноты на тепловой режим шара в вакууме поверхность его затем была покрыта высокотемпературным блестящим чёрным лаком с известной степенью черноты $\varepsilon = 0,8$.

Питание электрокалориметра осуществлялось постоянным током от селенового выпрямителя ВСА – 6 М.

Исследование теплоотдачи электрокалориметра производилось методом стационарного режима. Температура электрокалориметра измерялась медно-константановыми термопарами диаметром 0,1 мм, длиной 1 м, которые были приклеены на поверхности клеем БФ – 2. На поверхности шара было размещено равномерно 8 термодпар. Для уменьшения потерь тепла через электроды термодпар последние были изготовлены из медной и константановой проволоки, покрытой лаком и шелковой изоляцией, термодпары подсоединялись при помощи многопозиционного переключателя к зеркальному гальванометру ГЗП – 47. Перед экспериментами была произведена градуировка термодпар. При дополнительном внешнем сопротивлении 240 Ом одно деление гальванометра составляло 0,58 градуса.

Потребляемая электрокалориметром мощность определялась по методу вольтметра – амперметра. Ток измерялся амперметром М253, напряжение – вольтметром В1500/5. Потребляемая мощность для каждого калориметра (цилиндра, шара) была постоянной на протяжении всех экспериментов.

Температура оболочки, т.е. стеклянного колпака, определялась с помощью двух термодпар, приклеенных клеем БФ-2 на внутренней поверхности. Температура окружающего воздуха определялась по ртутному термометру с ценой деления 0,5 °С ГОСТ- 215-17.

Степень разрежения под колпаком измерялась вакуумметром ВИТ-1А 2 с помощью температурной манометрической лампы типа ЛТ-2.

Методика проведения экспериментальных исследований. Исследование влияния степени черноты поверхности на тепловой режим в разреженной среде было произведено на шаре – электрокалориметре. Степень черноты поверхности составляла $\varepsilon \approx 0,22$ и $\varepsilon \approx 0,8$.

Среднеповерхностная температура шара была определена по среднеарифметическому значению.

Потребляемая мощность опытным электрокалориметром составляла ($P = 2,42$ Вт).

Мощность, рассеиваемая шаром, во всех экспериментах составляла $P_{ш} = 2,2$ Вт:

$$P_{ш} = P - P_{п}, \quad (1)$$

где P – потребляемая мощность, Вт; $P_{п}$ – мощность, рассеиваемая токопроводящими проводами, Вт.

Мощность, рассеиваемая токопроводящими проводами, вычислялась по выражению:

$$P_{\text{п}} = \sqrt{\alpha_{\text{п}} \cdot \lambda_{\text{п}} S_{\text{п}} F_{\text{п}}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{ф}}) \cdot t_{\text{ф}} \cdot y \cdot \ell_{\text{пт}}, \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{п}}$ – коэффициент теплоотдачи токопроводящих проводов, Вт/м²·град.; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·град; $S_{\text{п}}$ – длина параметра сечения провода, м; $F_{\text{п}}$ – площадь сечения провода, м²; $t_{\text{п}}$ – средняя температура провода, °С; $t_{\text{ф}}$ – температура окружающей среды, °С; $y = \sqrt{\alpha_{\text{п}} \cdot S_{\text{п}} / \lambda_{\text{п}} \cdot F_{\text{п}}}$ – безразмерный параметр; $\ell_{\text{пт}}$ – длина токопроводящих проводов, м.

Конвективный коэффициент теплоотдачи шара определялся по формуле:

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha - \alpha_{\text{л}} = P_{\text{к}} / F(t_{\text{ср.}} - t_{\text{ф}}) = \varepsilon \cdot C_0 \frac{\left(\frac{T_{\text{ср.}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ф}}}{100}\right)^4}{T_{\text{ср.}} - T_{\text{ф}}}, \quad \text{Вт/м}^2 \cdot \text{град.} \quad (3)$$

Здесь F – площадь поверхности шара, м²; ε – степень черноты поверхности шара; C_0 – коэффициент лучеиспускания абсолютно чёрного тела, Вт/м²·К⁴; $T_{\text{ср.}} = (t_{\text{ср.}} + 273)$ – средняя температура поверхности, К; $T_{\text{ф}}$ – температура окружающей среды, К.

Результаты экспериментального исследования теплоотдачи шара при различных степенях разрежения приведены в табл. 1,2.

Как видно из табл. 1,2, температура перегрева шара при степени черноты $\varepsilon = 0,8$ при остальных одинаковых параметрах снизилась на 50% по сравнению с температурой перегрева при степени черноты поверхности $\varepsilon = 0,22$.

Роль конвективного коэффициента теплоотдачи с увеличением степени черноты поверхности снижается, особенно это сказывается при низких давлениях.

Научные и практические результаты. Впервые по результатам проведенных экспериментальных исследований радиоэлементов, функционирующих в разреженной среде, установлено, что при расчёте температурных полей для деталей, имеющих геометрическую форму в виде шара или в виде ограниченного цилиндра, при давлении среды $H = 10^{-3}$ мм рт. ст. и степени черноты поверхности $\varepsilon < 0,22$, конвективную составляющую коэффициента теплоотдачи можно не учитывать, а расчёты производить с учётом только лучистой составляющей.

Анализ экспериментальных данных (табл. 1, 2) позволяет сделать вывод, что покрытие поверхностей радиодеталей веществом с высокой степенью черноты приводит к увеличению общего коэффициента теплоотдачи. Учёт полученных результатов позволит получить

Таблица 1

Н мм. рт. ст.	$\varepsilon = 0,22$						
	$t_{\text{ф}}$, °С	$t_{\text{ср.}}$, °С	t , °С	α , Вт/ м ² град	$\alpha_{\text{л}}$, Вт/ м ² град	$\alpha_{\text{к}}$, Вт/ м ² град	$\alpha_{\text{к}}/\alpha$ 100%
750	21,5	75,5	54	8,03	1,63	7,40	92,2
10 ⁻¹	20,0	153	133	3,26	2,38	0,88	27
10 ⁻²	20,0	173	153	2,83	2,62	0,21	7,4
6·10 ⁻³	20,0	175	155	2,78	2,67	0,11	3,96

Таблица 2

Н мм. рт. ст.	$\varepsilon = 0,8$						
	$t_{\text{ф}}$, °С	$t_{\text{ср.}}$, °С	t , °С	α , Вт/ м ² град	$\alpha_{\text{л}}$, Вт/ м ² град	$\alpha_{\text{к}}$, Вт/ м ² град	$\alpha_{\text{к}}/\alpha$ 100%
750	20	62,4	42,4	10,2	6,0	4,2	41
10 ⁻¹	21	87,7	66,7	6,5	6,4	0,1	1,5
10 ⁻²	20	89,1	69,1	6,3	6,3	0	0
6·10 ⁻³	20	90,4	70,4	6,1	6,1	0	0

уточнённые расчёты температурных полей РЭА, работающих в этих же средах, на начальных этапах проектирования при расчёте температурных полей РЭА или при их синтезе.

Сравнение с лучшими аналогами. В литературных источниках [1-6] приведены сведения степеней черноты для различных материалов. Данные о степенях черноты для радиоэлементов и о влиянии степени черноты радиоэлементов, функционирующих в разреженных средах, в нормативных документах и в литературе отсутствуют. Поэтому полученные в результате проведенных экспериментов данные позволяют конструктору на начальной стадии проектирования оптимального по перегреву аппарата (особенно при синтезе) учитывать закономерности влияния степени черноты радиоэлементов функционирующих в условиях пониженного давления.

Анализ полученных экспериментальных результатов (табл. 1,2) позволяет сделать следующие выводы.

1. При расчёте теплового режима радиодеталей, имеющих геометрическую форму в виде шара или в виде ограниченного цилиндра, при давлении среды $H = 10^{-3}$ мм рт. ст. и степени черноты поверхности $\epsilon = 0,22$ конвективную составляющую коэффициента теплоотдачи можно не учитывать, а расчёт производить с учётом только лучистой составляющей.

2. Конвективный коэффициент теплоотдачи для ограниченных цилиндров при свободной конвекции в разреженной среде можно определять по формулам, представленным в [8].

3. Из табл. 1,2 видно, что для увеличения общего коэффициента теплоотдачи радиодеталей необходимо их поверхности покрывать веществом с высокой степенью черноты.

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

Поступила в редколлегию 10.11.2009

Синотин Анатолий Мефодиевич, канд. техн. наук, доцент кафедры социальной информатики ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование, автоматизация и производство радиоэлектронной аппаратуры. Адрес: Украина, 31052, Харьков, ул. Полтавский Шлях, 41, кв. 2, тел. 7021 – 494.

Колесникова Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доц. каф. ИКГ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и производство биомедицинской радиоэлектронной аппаратуры. Адрес: Украина, Харьков, пр. Победы, 57 Г, кв. 35, тел. 3 - 37-61-47.