

УДК 631.7.04-197:631:7.019.10

В.О. ПОВГОРОДНИЙ

*Институт проблем машиностроения НАН Украины им. А.Н. Подгорного, Украина***ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПЛАТЫ С РАЗМЕЩЕННЫМИ НА НЕЙ ЭЛЕКТРОННЫМИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

Приведен тепловой расчет для платы с расположенными на ней электрорадиоэлементами (ЭРЭ). Расчет был проведен с использованием аналоговой зависимости для расчета температурного поля. ЭРЭ на плате рассматривались как теплорассеивающие элементы (источники теплоты), так и распределенные массы. Получены максимальные и минимальные значения температур и максимального температурного градиента на плате, что является необходимым для решения задачи термоупругости, а, именно, определения температурных напряжений. В последующем полученные результаты по температурам можно использовать при проектировании системы охлаждения на отечественных самолетах.

температура, расчет, градиент, плата, электрорадиотехнический элемент, авиация, бортовая аппаратура

Введение

Важной составной частью проектирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является задача обеспечения необходимого теплового режима [1]. В настоящее время конструкции РЭА встречаются прямоугольной формы (модуль воздушных параметров (МВП)). МВП устанавливается на самолетах АН-124 «Руслан», ИЛ-76 и предназначен для измерения основных параметров полета (высоты, истинной и приборной скорости и числа Маха, температуры забортного воздуха), размещаемый в кабинном отсеке самолета.

Радиоэлектронные средства играют сегодня большую роль в различных областях науки и техники, а их отказы способны вывести из строя весьма серьезные системы, эксплуатируемые в очень жестких режимах работы, в том числе и климатических. В последние годы терморегулирование РЭА превращается в одну из наиболее важных областей военной и авиационно-космической техники. Разнообразные условия применения микроэлектронных устройств вызвали необходимость в создании печатных плат с высокой плотностью тепловой мощности, требующих минимального технического обслуживания в процессе нормальной эксплуатации (т.е.

обладающих высокой надежностью). Широкое внедрение микроэлектронных устройств, кроме того, требует разработки методов оптимизации терморегулирования РЭА.

Формулирование проблемы. Тепловая модель вышеупомянутого блока кассетной конструкции с приведенными геометрическими размерами представлена на рис. 1.

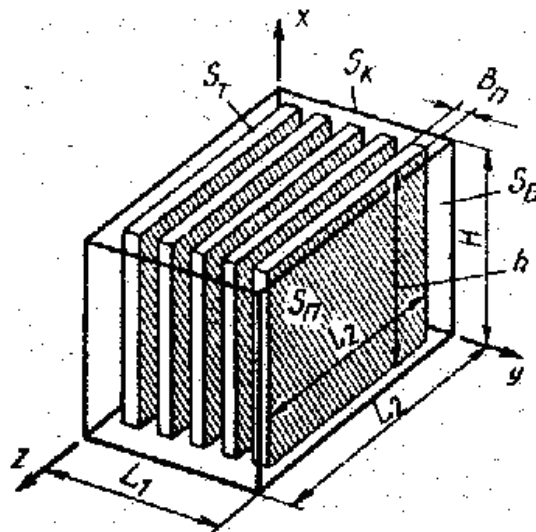


Рис. 1. Тепловая модель блока кассетной конструкции

В блоках с естественной и принудительной вентиляцией нижняя и верхняя стенки кожуха имеют отверстия, обеспечивающие поступление воздуха в зазоры между платами снизу вверх и выход его за-

тем наружу. В последнее время, однако, для блоков с принудительной вентиляцией чаще применяется такая конструкция, когда поток воздуха поступает не снизу, из воздухоораспределительного поддона, а сзади. Поддон отсутствует, а труба, подводящая охлаждающий воздух извне к блоку, соединяется уже не с поддоном, а с отверстием в кожухе. При этом масса воздухоораспределительных устройств несколько уменьшается.

Как показали предварительные исследования, отличительной особенностью теплового режима блоков кассетной конструкции является неравномерность температурных полей как в плоскости плат, так и в направлении, перпендикулярном платам (при равномерном тепловыделении на платах).

Нагретая зона состоит из кассет с платами. В каждую кассету входит одна, две или несколько плат. Общее количество плат в блоке определяется не только габаритными размерами блока, но также и высотой электрорадиоэлементов (ЭРЭ), устанавливаемых на платах. Платы в блоке могут располагаться горизонтально или вертикально, однако, преимущества вертикального положения плат (удобство в эксплуатации, устойчивость к механическим перегрузкам, возможность применения естественной вентиляции) заставляют конструкторов чаще останавливаться именно на таком варианте. Печатный монтаж может быть односторонний (на одной стороне платы), двухсторонний (на обеих сторонах платы) и многослойный (несколько тонких плат с одно- или двухсторонним печатным монтажом «склеены» в один пакет). Многослойные платы содержат как минимум один сплошной медный слой (толщина 0,07 мм), служащий в качестве шины питания или заземления. Существующие зазоры между платами необходимо свести к минимуму, что диктуется соображениями сокращения массы и габаритов блока. В современных конструкциях зазор между установленными на плату ЭРЭ и соседней платой не превышает 2 – 3 мм.

Чаще всего отказ радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) происходит из-за несоблюдения при их проектировании требований по устойчивости к тепловым воздействиям. В этой связи большое внимание сегодня уделяется разработке и внедрению методов теплофизического проектирования с учетом температурных напряжений [2, 3].

Таким образом, при эксплуатации бортовой аппаратуры возникают отказы, которые возникают вследствие температуры и температурных напряжений, и их можно разбить на три группы:

- разрушение стеклотекстолитовой (гетинаксовой) пластины;
- разрыв контактной дорожки и нарушение крепления ЭРЭ и его внешних выводов;
- выпучивание (температурный изгиб) пластины (платы).

Решение проблемы

На торцах платы задаются граничные температурные условия 3-го рода, которые соответствуют радиационно-конвективному теплообмену. Теплопередача свободной конвекцией и излучением (граничные условия 3-го рода) от поверхности печатной платы одинаково моделируется следующим образом.

Эквивалентный коэффициент теплопередачи определяется уравнениями

$$h_{env} = h_c + h_r,$$

где h_c – коэффициент теплоотдачи, обусловленный свободной конвекцией, а h_r – коэффициент теплообмена излучением.

Значение h_c вычисляется по формуле

$$h_c = 0,52 \cdot C(\Delta t / L)^{0,25}$$

где $C = 0,54$ для горизонтальной плоской пластины, Δt – перепад температур (в °C) между элементами, найденными на предыдущей итерации и $L=2$ (длина * ширина)/(длина + ширина).

Коэффициент теплообмена излучением вычисляется по формуле

$$h_r = 0,00685 \cdot \varepsilon (T_{av}/100)^3$$

где ε – лучеиспускательная способность (степень черноты), а T_{av} – средняя температура окружающей среды ($^{\circ}\text{C}$). Характерные значения и при перепаде температур 6К и температуре окружающей среды 355 К составляют 6,8 и 8,5 Вт/(м²·К) соответственно. Значение вычисляется перед каждой итерацией.

Общий вид граничных условий (ГУ):

$$\left[\lambda_n \frac{\partial T}{\partial n} + \alpha(T - T_C) \right]_{GP} = 0.$$

Тепловые ГУ 3-го рода:

$$t=0, \quad T(x,y,t) = 0;$$

$x = a$:

$$-\lambda_1 \left[\frac{\partial T}{\partial x} + h_e \cdot T \right] = 0;$$

$x = 0$:

$$\lambda_2 \left[\frac{\partial T}{\partial x} + h_e \cdot T \right] = 0;$$

$y = b$:

$$-\lambda_3 \left[\frac{\partial T}{\partial x} + h_e \cdot T \right] = 0;$$

$y = 0$:

$$\lambda_4 \left[\frac{\partial T}{\partial x} + h_e \cdot T \right] = 0.$$

Механические ГУ:

- прогиб u по точечным опорам равен нулю;
- производная прогиба u по времени t (угол поворота) равен нулю.

Температурное поле (изотермы) определяется согласно приведенной выше аналоговой зависимости и представлено на рис. 2. Максимальная температура на поверхности платы 118,96 $^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура на поверхности платы 90,42 $^{\circ}\text{C}$. Максимальный градиент температур 5 $^{\circ}\text{C}/\text{мм}$.

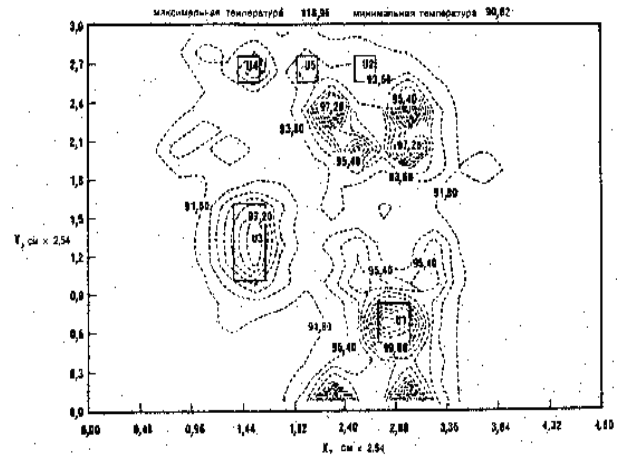


Рис. 2. Изотермы на плате

В настоящее время освоена технология изготовления стеклотекстолитовых плат с расположенными внутри микроканалами, способными пропускать охлаждающую жидкость. Применение таких плат перспективно как в бортовой, так и наземной аппаратуре. Институт проблем машиностроения НАН Украины совместно с Научно-исследовательским технологическим институтом приборостроения (г. Харьков) занимается проектированием, изготовлением и исследованием стеклотекстолитовых пластин со встроенными в них резистивными элементами (нагреватели для систем термостабилизации РЭА) и микроканалами для внутреннего конвективного охлаждения (платы для РЭА). Здесь нужно правильно разместить в платах контактные дорожки, обеспечивающие заданное выделение тепловой энергии, или микроканалы для эффективного и равномерного охлаждения плат с учетом мощности и месторасположения элементов РЭА, учитывая требования не только теплопроводности, но и термочувствительности. Температурное поле определяется в соответствии с формулой

$$T(x,y) = T_0 + \frac{R_m}{l - \mu^2} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^2 \times \\ \times \cos \left[\left((\pi(m+2))^{0,5} \right) \cdot \left(0,318 - \frac{0,6366x}{a} \right) \right] \times \\ \times \cos \left[\left((\pi(n+2))^{0,5} \right) \cdot \left(0,318 - \frac{0,6366y}{b} \right) \right].$$

Зарубежные комплексы программ ANSYS, MARK, NASTRAN, AUTOMOD также применяются для расчета теплового состояния. Однако универсальные продукты при решении конкретных, узкоспециализированных проектировочных расчетов приносят дополнительные сложности – моделировать разрабатываемую конструкцию либо очень сложно, либо вообще невозможно, поскольку этот процесс приведет к значительному увеличению времени расчета. Также, все, что касается минимизации температур в элементах печатных плат, особенно важно для работы электронных переходов микросхем. В Военном стандарте «Расчет надежности радиоэлектронного оборудования» (MIL-HDBK-217B) сказано, что тепловая надежность микроэлектронных элементов увеличивается на 20% на каждые 5°C снижения температуры перехода (при температуре нагретой зоны около 100°C, характерной для эксплуатации РЭА военных летательных аппаратов). Там же сказано, что расчеты тепловых режимов должны являться частью процесса проектирования и включаться в проектные сравнения, проводимые при формировании технических характеристик аппаратуры, ее термомеханической надежности, объема, необходимой для работы системы кондиционирования, охлаждения, подбора материалов, а именно, его теплофизических и механических свойств (коэффициентов температуропроводности и теплопроводности, модуля Юнга и коэффициента Пуассона, соответственно).

Выводы

Экономичность состоит в том, что дороговизна и сложность экспериментальных исследований вызывает необходимость создания расчетно-теоретических методик исследования данных технических объектов.

Одним из перспективных способов обеспечения теплового режима является жидкостное охлаждение [4] (при проектировании таких устройств возникает комплексная задача размещения РЭА как источников теплоты) так и сосредоточенных масс и стоков теплоты. Для ее решения так же, как в случае размещения только источников теплоты, удобно пользоваться аппаратом геометрических обратных задач теплопроводности и термоупругости при естественной и искусственной конвекции.

Литература

1. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с.
2. Алексеев В.А.. Расчет нестационарной теплопередачи многослойной стенки с неодинаковыми площадями контакта между слоями // Инж.-физ. журнал. – Минск. – 1985. – Том XLIX, № 3. – С. 491-496.
3. Алексеев В.А., Чукин В.Ф., Митрошкина М.В. Математическое моделирование тепловых режимов аппаратуры на ранних этапах ее разработки. – М.: Информатика – Машиностроение, изд. "Вираз – Центр", 1998. – С. 17-22.
4. Алексеев В.А., Антонов В.В. Расчет устройств охлаждения электронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ // Электронная техника в автоматике. – М.: Радио и связь, 1985. – Вып. 16. – С. 147-155.

Поступила в редакцию 22.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Д. Доценко, Национальный технический университет "ХПИ", Харьков.