

Сенсация № 5 05.10.052

если объект поставляется на экспорт в течение длительного времени и до сих пор не предъявлялось исков со стороны иностранных патентовладельцев, то можно продолжать поставки без проверки патентной чистоты. В зарубежной патентной практике по патентным спорам известны случаи, когда патентовладельцы выжидали по семь и более лет с предъявлением иска, так как рассчитывали, что за это время их предполагаемые убытки возрастут и, следовательно, увеличится размер иска.

4. ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ ОТ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

4.1. Механические воздействия

Основная особенность эксплуатации ВТ на подвижных объектах — повышенное воздействие механических факторов (вибраций, ударов, линейных ускорений). *Вибрации* характеризуются частотой, амплитудой, ускорением. *Ударные перегрузки* характеризуются числом одиночных ударов, длительностью ударного импульса, перемещением соударяющихся тел. *Линейные ускорения* характеризуются ускорением, длительностью, знаком воздействия ускорения.

Возникающие при вибрациях, ударах и ускорениях перегрузки оцениваются соответствующими коэффициентами. Для защиты от вибрации и ударов применяют амортизаторы или демпферы. Амортизаторы от линейных перегрузок не защищают.

4.1.1. Методы расчета и анализа вибраций

В общем случае конструкция ВТ представляет собой сложную колебательную систему, состоящую из конечного числа простых механических узлов, обладающих массой m_i , закрепленных на пружинах с жесткостью k_i (рис. 4.1).

Эта разбивка конструкции ВТ на простые колебательные системы упрощает методику расчета и анализа воздействия вибраций и является правильной, так как передвижная ВТ выполняется из блоков, которые жестко укреплены на шасси и связаны гибкими соединениями. Для простой колебательной системы с одной степенью свободы движение под воздействием приложенных сил определяется изменением во времени одной координаты (рис. 4.2).

Такая система состоит из груза массой m , пружины жесткостью k и демпфера с коэффициентом демпфирования β . По принципу Даламбера

$f_0, \text{Гц}$	50—100	100—400	400—700
$\gamma(f_0)$	17,5	25,0	35,0

Выражение (4.5) получено из условия обеспечения значительной усталостной долговечности.

4.1.3. Амортизация нестационарных ВТ

Эффективный способ повышения надежности ВТ, функционирующей в условиях интенсивных механических воздействий, — виброизоляция. Энергия механических колебаний поглощается или отражается специальными приспособлениями — амортизаторами. Энергия в амортизаторах поглощается за счет трения, отражение части механической энергии происходит в случае, если частота собственных колебаний амортизированной механической системы меньше нижней границы диапазона воздействующих колебаний (амортизатор работает как механический фильтр нижних частот).

При выполнении этого расчета конструкцию ВТ целесообразно считать твердым телом (рис. 4.3), которое имеет шесть степеней свободы, столько же связанных колебаний n собственных частот $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$. В общем случае необходимо исследовать шесть расчетных моделей. Рассмотрим линейную систему амортизации однонаправленного нагружения, в которой действие возмущающих сил и перемещение ВТ возможно вдоль оси амортизатора.

Основная цель при проектировании системы амортизации — обеспечение уровня виброускорений меньше допустимого. Качество амортизации характеризуется коэффициентом передачи (виброизоляции), равным отношению виброускорения, действующего на объект, к виброускорению основания, на котором он установлен, в функции от параметра

$$\alpha = \omega / \omega_0,$$

где ω — частота действующего виброускорения, ω_0 — собственная частота амортизированной системы.

При малом демпфировании (раскачивании), что характерно для большинства систем амортизации, $\alpha > 2$, коэффициент передачи (виброизоляции) описывается выражением

$$\mu = 1 / [(\omega_1 / \omega_0)^2 - 1].$$

Эффективная амортизация обеспечивается, если $2\omega_0 \leq \omega_m$, т. е. если собственная частота системы в 2—3 раза меньше нижней граничной частоты действующего виброускорения.

При заданных коэффициентах виброизоляции μ и частоте действующего

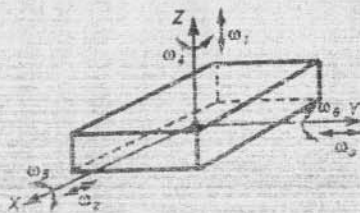


Рис. 4.3. Линейные перемещения и колебания по трем осям

шего виброускорения ω , необходимая собственная частота амортизированной системы

$$\omega_0 = \omega \sqrt{\mu_1 / (1 + \mu_1)}.$$

Суммарная жесткость амортизаторов, Н/м,

$$K_{\Sigma} = 39,2 m \omega_0^2,$$

где m — масса амортизированной системы, кг.

Расчетная жесткость каждого амортизатора

$$k_i = K_{\Sigma} / N,$$

где N — число амортизаторов.

Амплитуда колебаний амортизированной системы на данной частоте

$$h_{\max} = 0,025 g / \omega^2$$

при условии

$$K_{\Sigma} \ll m 40 \pi^2 \omega^2.$$

Если максимальная амплитуда колебаний равна $h_{\text{доп}}$ и нельзя увеличить зазор, следует увеличить массу системы:

$$m_{\text{тр}} = 2,5 \cdot 10^5 mg / (h_{\text{доп}} \cdot 10^2).$$

При расчете системы амортизации необходимо определить реакцию в каждой точке крепления, которая не должна превышать допустимую нагрузку соответствующего амортизатора. В зависимости от схемы расположения и количества амортизаторов различают статически определимые и неопределимые системы.

Система статически определима, если число амортизаторов $N \leq 3$ и они расположены не на одной прямой. Реакции амортизаторов в этом случае не зависят от их упругих свойств и однозначно определяются из трех уравнений статики (рис. 4.4).

Для этой системы реакция оценивается выражениями:

$$R_1 = \frac{x_2 y_3 - x_3 y_2}{\Delta} \cdot G; \quad R_2 = \frac{x_1 y_3 - x_3 y_1}{\Delta} \cdot G;$$

$$R_3 = \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{\Delta} \cdot G,$$

где G — вес системы;

$$\Delta = x_2 y_3 - x_3 y_2 - x_3 y_1 + x_1 y_3 + x_1 y_2 - x_2 y_1.$$

Если число амортизаторов $N > 3$, то система статически неопределима. Реакции

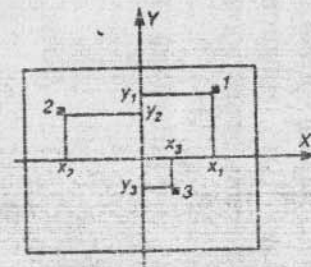


Рис. 4.4. Статически определимая однонаправленная система с тремя однородными амортизаторами

такой системы должны подчиняться основным уравнениям:

$$\sum_{i=1}^N R_i = G; \quad \sum_{i=1}^N R_i x_i = 0; \quad \sum_{i=1}^N R_i y_i = 0.$$

и $(N - 3)$ дополнительными уравнениями, например одно из них:

$$\sum_{i=1}^N R_i x_i y_i = 0.$$

Можно также задать произвольно $(N - 3)$ реакции и определить их из уравнений статики, при этом все реакции должны быть положительными. Зная реакции амортизаторов, можно определить их требуемую статическую деформацию:

$$h_{ст} = R_i / k_i,$$

где k_i — жесткость i -го амортизатора.

По основным параметрам амортизаторов выбирают их тип и размеры. Если статическая деформация амортизаторов не одинакова, для устранения перекосов ставят компенсирующие прокладки.

К основным параметрам амортизаторов относят: жесткость, номинальную нагрузку, диапазон собственных частот, коэффициент виброизоляции в диапазоне собственных частот и вне его, относительный коэффициент демпфирования, допустимые условия эксплуатации, гарантированную наработку, габариты и массу. Отметим, что не все параметры указаны в паспортных данных. Длительность надежной работы амортизаторов колеблется в пределах 500—2000 часов.

Амортизаторы резинометаллические просты в изготовлении, защищают от вибрации в любом направлении. Они имеют довольно низкий относительный коэффициент демпфирования и требуют защиты от разрушающих резину

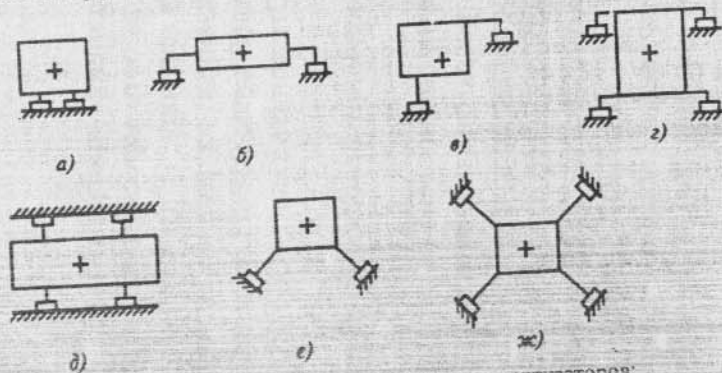


Рис. 4.5. Схема установки амортизаторов:

а — нижний монтаж; б — монтаж в плоскости центра тяжести; в — в диагональной плоскости; г — в двух горизонтальных плоскостях; д — двусторонний монтаж; е — односторонний монтаж под углом; ж — двусторонний монтаж под углом

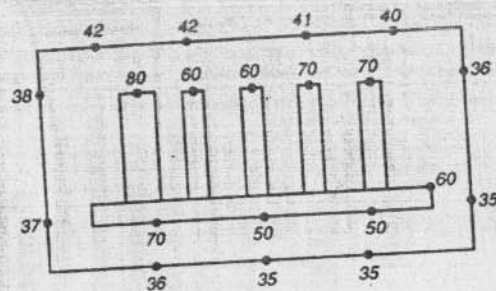


Рис. 4.6. Температурное поле электронной аппаратуры

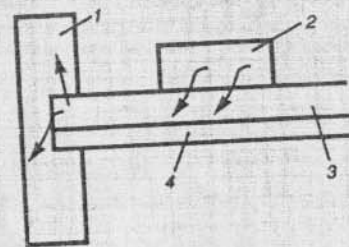


Рис. 4.7. Охлаждение теплопроводностью:
1 — стенка аппаратуры, 2 — интегральная схема, 3 — теплоотвод, 4 — печатная плата

воздействий (солнечной радиации, масла, бензина). При понижении температуры упругость амортизаторов ухудшается, жесткость и собственная частота возрастают.

Амортизаторы пружинные защищают от вибрации только в основном направлении. Они хорошо противостоят внешним воздействиям. Диапазон частот воздействующих виброускорений в общем случае равен 5—5000 Гц, при использовании рассмотренных амортизаторов может возникать явление резонанса.

Для исключения резонанса необходимы амортизаторы с собственными частотами не более 3 Гц. Это обеспечивают пневмогидравлические амортизаторы. Наиболее распространенная задача расчета амортизации — определение типа и числа амортизаторов, выбор схемы их расположения (рис. 4.5) при заданных кинематических и геометрических параметрах ВТ и при действующем виброускорении.

4.2. Охлаждение ВТ

Использование больших мощностей при сравнительно малых объемах приводит к резкому увеличению плотности мощности рассеяния и плотности рассеиваемой теплоты. Тепловой режим блока ВТ характеризуется совокупностью температур отдельных его точек, т. е. температурным полем в °С (рис. 4.6).

Для описания теплообмена (теплопроводности, конвекции, излучения) используют следующее соотношение:

$$\Phi = \alpha S \Delta t,$$

где Φ — тепловой поток, Вт; α — коэффициент теплоотдачи Вт/(м²·К); S — площадь поверхности теплообмена, м²; Δt — перепад температур между двумя изотермическими поверхностями (в теле или между двумя телами, К).

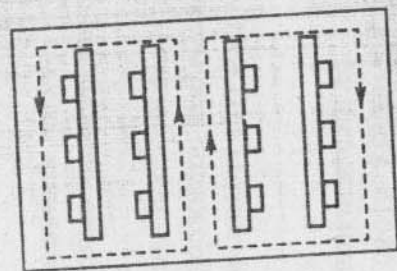


Рис. 4.8. Естественное воздушное охлаждение в герметичном корпусе

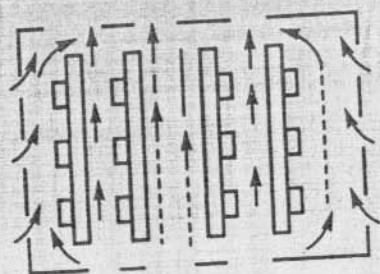


Рис. 4.9. Естественное воздушное охлаждение в негерметичном корпусе

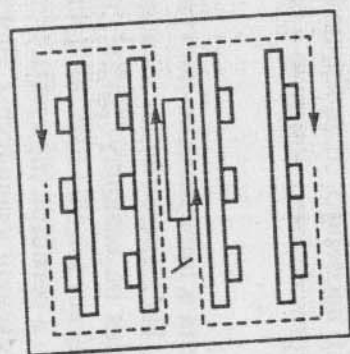


Рис. 4.10. Принудительное воздушное охлаждение в герметичном корпусе

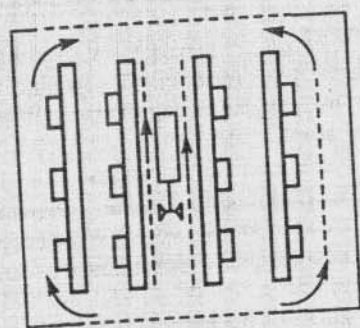


Рис. 4.11. Принудительное охлаждение в негерметичном корпусе

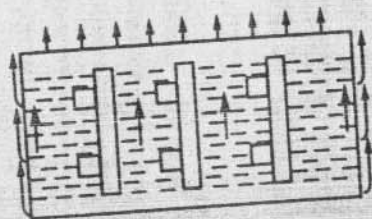


Рис. 4.12. Естественное жидкостное охлаждение

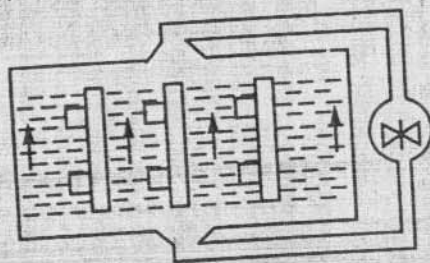


Рис. 4.13. Принудительное жидкостное охлаждение

Техническая реализация системы охлаждения микроэлектронной аппаратуры выполняется одним из способов:

- а) охлаждением теплопроводностью (рис. 4.7);
- б) естественным воздушным охлаждением в герметичном корпусе (рис. 4.8);

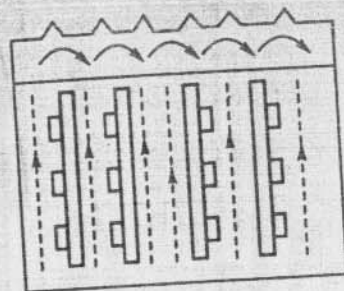


Рис. 4.14. Охлаждение испарением

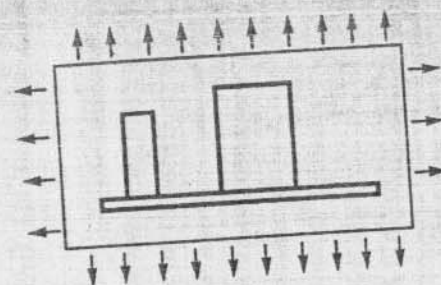


Рис. 4.15. Охлаждение излучением

- в) естественным воздушным охлаждением в негерметичном корпусе (рис. 4.9);
- г) принудительным воздушным охлаждением в герметичном корпусе (рис. 4.10);
- д) принудительным воздушным охлаждением в негерметичном корпусе (рис. 4.11);
- е) естественным жидкостным охлаждением (рис. 4.12);
- ж) принудительным жидкостным охлаждением (рис. 4.13);
- з) охлаждением испарением (рис. 4.14);
- и) охлаждением излучением (рис. 4.15).

4.2.1. Передача теплоты в электронных устройствах

Процесс передачи теплоты теплопроводностью объясняется обменом кинетической энергией между молекулами вещества и диффузией электронов. Оба эти явления наблюдаются в том случае, когда температура веществ в различных точках различна или когда контактируют два объекта с различной степенью нагрева. Основной закон теплопроводности (закон Фурье) утверждает, что количество теплоты, проходящей через тело в единицу времени, прямо пропорционально площади поперечного сечения, нормальной к потоку теплоты и температурному градиенту вдоль потока:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dt}{dx}, \quad (4.6)$$

где Q — количество теплоты, Дж; t — время, с; τ — константа, характеризующая теплопроводность материала Вт/(м·К); X — линейная координата, м.

Из уравнения следует, что поток теплоты может быть направлен только в сторону падения градиента температур. Для случая, когда теплофизические характеристики вещества постоянны во всех точках, а тепловой поток составляющие распространения по трем координатным осям, пользуясь предыдущей формулой, можно записать основное уравнение теплопроводности:

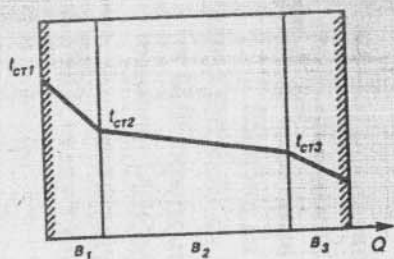


Рис. 4.16. Теплопроводность трехслойной стенки

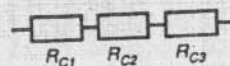


Рис. 4.17. Эквивалентная схема трехслойной стенки

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} + \frac{Q'}{\lambda} = \frac{\gamma}{c\gamma} \frac{\partial t}{\partial \tau},$$

где Q' — количество теплоты, эквивалентное мощности внутренних источников в единице объема, Дж; C — удельная теплоемкость вещества, Дж/(кг·К); γ — плотность вещества, кг/м³.

Для случая передачи теплоты через плоскую стенку толщиной b (рис. 4.16) количество теплоты, передаваемой за единицу времени через участок стенки площадью S , на основании закона Фурье (4.6):

$$Q = (\lambda/b)S(t_{cr1} - t_{cr2}) = S\Phi,$$

где t_{cr1} , t_{cr2} — постоянные во времени температуры поверхностей стенки, К или °С. Если теплопроводность не зависит от температуры, то внутри стенки она убывает по линейному закону.

Отношение $b/(\lambda S)$ называют *термическим* или *тепловым сопротивлением* и обозначают

$$R_c = b/(\lambda S).$$

Значение R_c соответствует сопротивлению R в уравнении закона Ома, а величина, обратная коэффициенту теплопроводности, т. е. удельное термическое сопротивление E , эквивалентна удельному сопротивлению в электротехнике:

$$1/\lambda = R_c(S/b).$$

Так, для трехслойной стенки (рис. 4.16), пользуясь уравнением (4.6), составим систему уравнений:

$$\begin{cases} t_{cr1} - t_{cr2} = Qb_1/(\lambda_1 S), \\ t_{cr2} - t_{cr3} = Qb_2/(\lambda_2 S), \\ t_{cr3} - t_{cr4} = Qb_3/(\lambda_3 S). \end{cases}$$

После сложения этих уравнений получим схему (рис. 4.17).

Решив систему уравнений, получим:

$$t_{cr1} - t_{cr4} = \left(\frac{b_1}{\lambda_1 S} + \frac{b_2}{\lambda_2 S} + \frac{b_3}{\lambda_3 S} \right) Q = (R_{c1} + R_{c2} + R_{c3})Q = \sum_{i=1}^3 R_{ci}Q.$$

Пусть элементы, которые необходимо охладить, располагаются на стенке, имеющей температуру

$$t_{cr1} = Qb/(\lambda S) + t_{cr2}.$$

Тогда для уменьшения t_{cr1} следует увеличить площадь теплоотводящей поверхности, уменьшить количество выделяемой теплоты, толщину стенки (путь передачи теплоты), температуру и выбрать материал с высокой теплопроводностью. Этому требованию соответствуют печатные платы на металлической основе.

Естественное и принудительное воздушное охлаждение. Эти способы охлаждения наиболее просты и доступны, так как все элементы микроЭВМ находятся в объеме, заполненном воздухом или инертным газом. Теплота от нагретых корпусов микросхем передается окружающей атмосфере за счет естественной конвекции. Эффективность естественного воздушного охлаждения тем больше, чем больше разность температур между корпусом и окружающей средой и чем больше площадь поверхности корпуса. Большое значение также имеет плотность окружающей среды, при уменьшении которой отвод теплоты от поверхности корпуса уменьшается.

В общем случае тепловое сопротивление R_c с учетом $R_c = b/(\lambda S)$ имеет вид

$$R_c = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\lambda S(x)} dx.$$

Так как элементы конструкции имеют разную форму, то выражения для теплового сопротивления однородных тел плоской $R_{пл}$ (рис. 4.18, а), цилиндрической $R_{ц}$ (рис. 4.18, б) и шаровой $R_{ш}$ (рис. 4.18, в) конфигурации имеют такой вид:

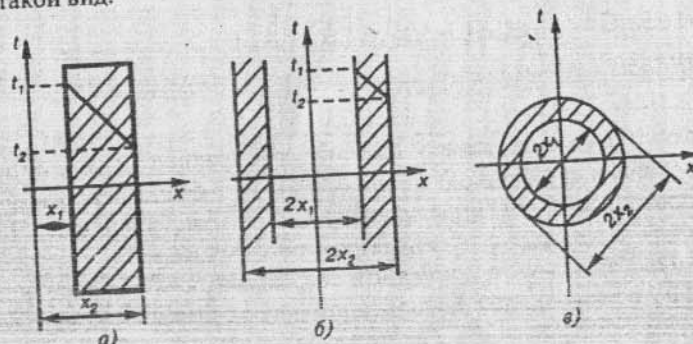


Рис. 4.18. Элементы конструкции

$$R_{\text{пл}} = (x_2 - x_1) / (\lambda S_{\text{пл}}),$$

где $S_{\text{пл}}$ — площадь плоской стенки;

$$R_u = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\lambda \cdot 2\pi x L} dx = 1 / (\lambda \cdot 2\pi L) \ln(x_2/x_1);$$

$$R_w = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\lambda \cdot 4\pi x^2} dx = \frac{1}{\lambda \cdot 4\pi} \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{x^2} dx = \frac{1}{\lambda \cdot 4\pi} \left(-\frac{1}{x} \right).$$

Напомним, что теплообмен конвекцией описывается законом Ньютона—Римана: $\Phi = \alpha S \Delta t$, согласно которому тепловой поток от поверхности твердого тела к среде или наоборот будет иметь вид

$$\Phi_{ic} = \alpha_{ic} S_i (t_i - t_c),$$

где α_{ic} — коэффициент теплообмена конвекцией между поверхностью тела и средой, Вт/(м²·град); t_i, t_c — температура поверхности тела и среды; S_i — площадь поверхности теплообмена, м².

Если тепловая энергия передается от поверхности i к поверхности j через жидкую или газообразную прослойку, тогда тепловой поток

$$\Phi_{ij} = k_{ij} S_i (t_i - t_j),$$

где k_{ij} — коэффициент теплопередачи в прослойке, Вт/(м²·К).

Коэффициенты теплообмена конвекцией α_{ic} и теплопередачи в прослойке k_{ij} являются функциями физико-механических и кинематических свойств жидкости или газа, а также параметров, характеризующих форму и размеры поверхностей. При анализе процессов теплообмена конвекцией используют критерии:

$$\text{Нуссельта } Nu = \alpha_{ic} L / \lambda_c;$$

$$\text{Грасгофа } Gr = g \beta_c (t_i - t_c) L^2 / \nu^2;$$

$$\text{Прандтля } Pr = \nu / a_c;$$

$$\text{Рейнольдса } Re = \nu L / \nu,$$

где L — определяющий размер элемента конструкции (длина обтекания, длина пластины или цилиндра); $\lambda_c, \beta_c, \nu, a_c$ — соответственно коэффициенты теплопроводности, объемного расширения (жидкости или газа), 1/К, кинематической вязкости, м²/с, температуропроводности, м²/с; g — ускорение свободного падения, м/с²; ν — скорость потока жидкости или газа, м/с.

При построении тепловой модели упрощают элементы конструкции и идеализируют протекающие в них тепловые процессы. Один из способов упрощения — замена сложной по форме нагретой зоны элемента конструк-

ции прямоугольным параллелепипедом — эквивалентом нагретой зоны с одинаковой среднеповерхностной температурой и равномерно распределенным источником тепловой энергии. Такая замена выполняется на основе принципа усреднения. Идеализация тепловых процессов заключается в том, что учитываются только основные, вносящие наибольший вклад в тепловой обмен, способы переноса тепловой энергии. Упрощение элементов конструкции и идеализация тепловых процессов должны быть таковы, чтобы обеспечивалась адекватность модели.

Тепловые процессы при таком подходе описываются системой неоднородных нелинейных алгебраических уравнений, которые составляются на основе закона сохранения энергии с использованием выражения

$$t_i - t_j = F_{ij} W_i = \Delta t_{ij},$$

где F_{ij} — тепловой коэффициент, W_i — перенос тепловой энергии от $i \rightarrow j$. Число уравнений определяется количеством нагретых зон.

4.2.2. Основные теплофизические задачи, возникающие при конструировании ВТ

На начальной стадии проектирования конструкции необходимо решить вопрос о выборе способа ее охлаждения. Такой выбор можно выполнить по результатам расчета температурного режима конструкции при каждом из возможных способов охлаждения. Но такой подход требует значительных затрат времени конструктора. Способ охлаждения конструкции ВТ ориентировочно можно выбрать (рис. 4.19) по области изменения параметров (перегреву конструкции Δt , удельной тепловой энергии Φ_u , рассеиваемой ею). Область разделяем на зоны, соответствующие каждому способу охлаждения: естественным — воздушному 1 или жидкостному 3, принуди-

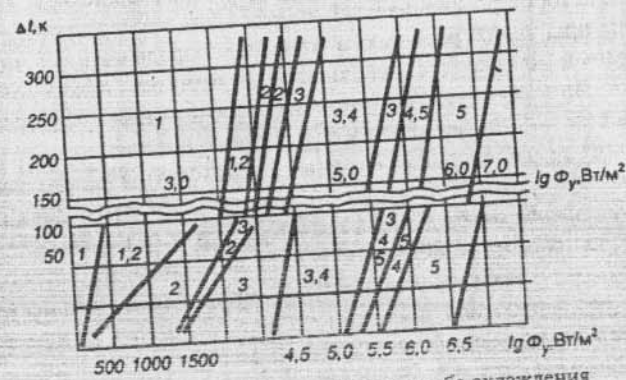


Рис. 4.19. Диаграмма выбора способа охлаждения

тельному — воздушному 2, жидкостному 4 и испарительному 5. Нижняя часть относится к блокам, верхняя — к индивидуальным элементам.

Рассмотрим методику способа охлаждения.

1. Определяют минимальный допустимый перегрев нагретой зоны

$$\Delta t_{\text{доп}} = t_{\text{доп}} - t_{\text{о.с. макс}}$$

где $t_{\text{доп}}$ — допустимая температура нагретой зоны, К; $t_{\text{о.с. макс}}$ — максимальная температура окружающей среды, К.

2. Рассчитывают поверхность нагретой зоны, м^2 ,

$$S_3 = 2[L_1 L_2 + (L_1 + L_2)L_3 K_3],$$

где L_1, L_2 — горизонтальные размеры корпуса, м; L_3 — высота корпуса, м; K_3 — коэффициент заполнения, равный отношению объема функциональных и монтажных элементов внутри объема к его внутреннему объему.

Для блоков при жидкостном и испарительном охлаждении значение S_3 рассматривают по его геометрическим размерам охлаждаемой поверхности, находящейся в контакте с теплоносителем.

3. Находят удельную мощность нагретой зоны, $\text{Вт}/\text{м}^2$,

$$\Phi_{\gamma} = \Phi/S_3,$$

где Φ — мощность, рассеиваемая блоком или элементом, Вт.

4. Определяют зону, в которой лежит точка с координатами $\Delta t_{\text{доп}}$ и Φ_{γ} . Если точка попадает в зону с несколькими возможными способами охлаждения, то для уточнения рассчитывают тепловой режим.

При принудительном охлаждении конструкции основная задача — это определение расхода хладагента для обеспечения нормального температурного режима комплектующих элементов. При заданном расходе хладагента, а также при естественном охлаждении можно поставить задачу определения коэффициента заполнения и геометрических размеров типовой конструкции или ее элементов либо максимально допустимой выделяемой тепловой энергии, при которой обеспечивается нормальный температурный режим.

Обычно при таких расчетах в качестве определяющего используют среднеобъемный или среднеповерхностный перегрев некоторой типовой конструкции. Поэтому в этом случае необходимо решить задачу поверхностного характера — определить перегрев отдельного элемента, находящегося в наихудших температурных условиях, и проверить для него выполнение условия теплового режима. К этому же классу относится задача перегрева при заданном способе охлаждения и геометрических размерах.

Рассмотрим механизм передачи тепловой энергии от нагретых зон в окружающую среду. В вычислительной технике с субблоками бескаркасной конструкции без теплоотводящих шин можно пренебречь передачей теплоты конвекцией по элементам крепления и монтажа (рис. 4.20). Тепловая энергия, выделяемая i -й нагретой зоной (субблоком), передается излучением

с боковых поверхностей на соседние $(i-1)$ -ю и $(i+1)$ -ю нагретые зоны (тепловые сопротивления $R_{i, i-1}$ и $R_{i, i+1}$) и с торцевых поверхностей к корпусу (тепловые сопротивления R_{ik}). От боковых поверхностей 1-й и N -й плат тепло передается излучением к корпусу (тепловые сопротивления $R_{1, к.б}$ и $R_{N, к.б}$). Тепловая энергия от плат передается воздуху за счет естественной конвекции в каналах между нагретыми зонами, а также между 1-й и N -й платами и боковыми стенками корпуса (тепловые сопротивления $R_{i, в}$).

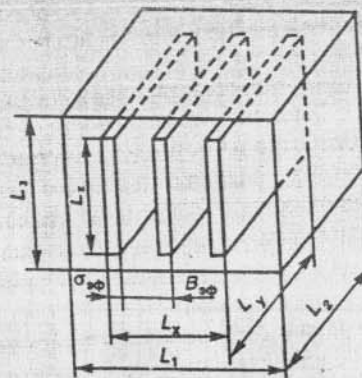


Рис. 4.20. Схема тепловой модели

передачей тепловой энергии конвекцией от торцевых поверхностей плат пренебрегаем из-за малой площади поверхности. Тепловая энергия, воспринятая воздухом, конвекцией передается корпусу ($R_{кк}$), который рассеивает ее в окружающей среде в общем случае за счет кондукции, конвекции и излучения ($R_{кк}$). Тепловая схема составляется на основании выполненного анализа механизмов передачи тепловой энергии (рис. 4.21).

Уравнения теплового баланса:

$$\begin{cases} \Phi_1 = (t_1 - t_k)(g_{1к} + g_{1кб}) + (t_1 - t_2)g_{12} + (t_1 - t_n)g_{1n}; \\ \Phi_i = (t_i - t_k)(g_i + g_{икб}) + (t_i - t_{i+1})g_{i,i+1} + (t_i - t_n) \cdot g_{in}, \quad i = 2, 3, \dots, N-1; \\ \Phi_N = (t_N - t_k)(g_{Nк} + g_{Nкб}) + (t_{N-1} - t_N)g_{N-1,N} + (t_N - t_n)g_{Nn}; \\ \Phi_{кк} = (t_n - t_k) \cdot g_{кк}; \quad \phi = (t_k - t_c) \cdot g_{кк}, \end{cases}$$

где $\Phi_{кк} = \sum_{i=1}^N (t_i - t_n) \cdot g_{in}$ — суммарная тепловая энергия, передаваемая кон-

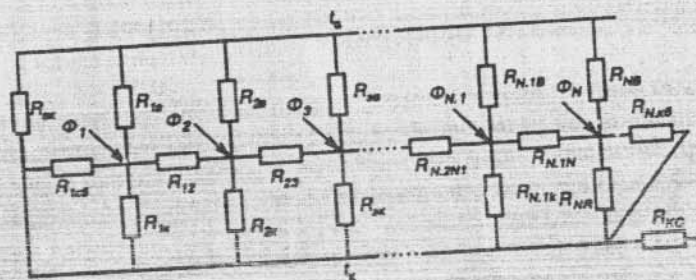


Рис. 4.21. Эквивалентная тепловая схема передачи энергии

векцией воздуху и затем воздухом корпусу; $\Phi = \sum_{i=1}^n \Phi_i$, — суммарная тепловая энергия, выделяемая платами.

Тепловые проводимости, входящие в систему уравнений, зависят от температур плат, воздуха внутри ВТ, корпуса и окружающей корпус среды. Поэтому уравнения теплового баланса — нелинейные. Решение этих уравнений находится методом итерации, исходя из предполагаемых значений неизвестных перегревов. Основные этапы метода:

- 1) задают начальные значения неизвестных перегревов корпуса, воздуха и нагретых зон;
- 2) для данных перегревов определяют тепловые проводимости;
- 3) решают уравнения теплового баланса относительно неизвестных перегревов;
- 4) текущие значения перегревов сравнивают с предыдущими, т. е. проверяют условие

$$|\Delta t_n - \Delta t_{(n-1)}| \leq \varepsilon,$$

где ε — точность приближения, n — шаг итерации. Если данное условие выполнено, то решение получено, иначе вычисления продолжают, начиная со второго этапа.

Вывод. Тепловой режим зависит от мощности источников и стоков тепловой энергии и принудительной системы охлаждения, температуры окружающей среды и условий теплообмена. Температурный режим влияет на надежность и помехоустойчивость ВТ. Конструкция ВТ должна обеспечивать нормальный тепловой режим, что достигается проектированием способов охлаждения и разработкой соответствующих элементов и узлов. Задача обеспечения нормального теплового режима более важна с ростом быстроты действия и уровня интеграции элементной базы. Наибольшей эффективностью обладает принудительное жидкостное охлаждение, но его реализация связана со значительным усложнением конструкции.

4.3. Атмосферные воздействия

Защита конструкций от атмосферных воздействий предполагает защиту от влаги, солнечной радиации, биологической среды, пыли, атмосферного давления. Уменьшение влияния указанных воздействий на ВТ, его блоки, сборочные единицы и детали может быть обеспечено следующими мероприятиями:

- а) разработкой конструкций с применением таких материалов, которые не изменяют своих свойств от внешних воздействий (нержавеющие стали, бронзы, титановые сплавы, специальные пластмассы и т. п.);

- б) покрытием и пропиткой деталей и сборочных единиц специальными смолами, лаками, металлом или его оксидами;
- в) полной изоляцией ВТ, блока или сборочной единицы от внешней среды (герметизация) путем заливки, обволакивания и заключения их в герметизированный корпус.

4.3.1. Защита покрытиями

Защита деталей ВТ от внешних воздействий может быть осуществлена следующими методами: а) негальваническими (металлических и неметаллических); б) химическими; в) гальваническими.

Негальванические покрытия. К металлическим покрытиям относятся: вакуумное испарение практически любым металлом и почти на любые подложки (толщина слоя зависит от скорости и времени испарения вещества); катодное распыление (перенос металла с катода на анод при тлеющем разряде в газах); горячее распыление (расплавленный металл распыляется сжатым газом, толщина пленки от 30 мкм до нескольких миллиметров), которым можно нанести любое металлическое покрытие на поверхность любого материала. К неметаллическим покрытиям относятся лакокрасочные, которые представляют собой пленкообразующие вещества, наносимые в один или несколько слоев на защищаемую поверхность. Такие покрытия химически более инертны, чем металлические, но имеют меньшую механическую прочность.

Химические покрытия. К ним относятся оксидирование, пассивирование, фосфатирование, азотирование, анодирование.

Оксидирование бывает щелочное, бесщелочное и химическое. Щелочное оксидирование выполняется в горячих концентрированных растворах щелочей в присутствии различных окислителей (температура процесса 140—145 °С, время выдержки 60—90 мин в зависимости от процентного содержания углерода в стали). Бесщелочное (кислотное) оксидирование стальных деталей образует защитную пленку порядка 15 мкм из фосфатов кальция и оксидов железа. Химическое оксидирование алюминия и его сплавов ведут в растворах, содержащих щелочь и хроматы щелочных металлов. Оксидирование меди и ее сплавов происходит в щелочно-сульфатных растворах.

Пассивированием называется образование очень тонких оксидных пленок на цветных металлах с участием оксидов хрома. Пассивирование производят в подкисленном растворе хромпика.

Фосфатирование является химической реакцией, при которой происходит кристаллизация фосфатов на поверхности, причем в реакции участвует металл основания.

Азотирование состоит в насыщении поверхности стальных деталей азотом в потоке аммиака при температуре 500—650 °С.

Мерзевский п 6