

### 3. ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЁТЫ

#### 3.1. Температура нагретой зоны одиночного блока

Приведенный расчет справедлив для одиночных блоков в РЭС, имеющих геометрические размеры в пределах 600 мм по трем измерениям. Предполагается, что блок имеет форму прямоугольного параллелепипеда или цилиндра, ось которого может быть расположена горизонтально или вертикально. Внутренняя архитектура блока может представлять собой различные конструктивные варианты. Это может быть шасси с расположенными на нем крупными электрорадиоэлементами, это могут быть кассеты или ячейки с микросхемами и отдельными дискретными элементами, имеющими геометрические размеры, соизмеримые с размерами микросхем.

Кассеты или ячейки могут располагаться горизонтально или вертикально. При вертикальном расположении кассет или ячеек расчет будет справедлив при условии, что расстояние между кассетами не превышает трех миллиметров. Для горизонтального расположения кассет и ячеек такого ограничения нет.

Исходные данные для расчета

$P$  - суммарная мощность тепловыделения в блоке. Вт;

$L_1, L_2, L_3, - (D, H)$  - геометрические размеры блока прямоугольной формы (в виде цилиндра), м;

$l_1, l_2, l_3 - (d, h)$  – размеры нагретой зоны, м;

$t_c$  – температура окружающей среды, °С.

1. Определяют размеры нагретой зоны.

Для кассет или ячеек, объединенных в единый блок, размеры нагретой зоны определяются максимальными размерами этого блока. Если в качестве несущего элемента используется шасси с расположенными на нем крупногабаритными элементами, то размеры нагретой зоны будут: два измерения совпадают с размерами шасси, а третье будет определяться суммой высот шасси ( $h$ ) и высотой средних размеров элементов расположенных с одной и другой стороны шасси ( $h_1$  и  $h_2$ ). Средняя высота элементов определяется:

$$h_{1,2} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{l_1 \cdot l_2}$$

где:  $K_i$  – высота  $i$ -го элемента на поверхности шасси;

$l_1$  и  $l_2$  – размеры шасси;

$n$  – количество элементов с одной стороны шасси.

Высота нагретой зоны будет

$$l_3 = h + h_1 + h_2$$

На рисунке 3.1 представлены расчетные модели блока прямоугольной (а) и цилиндрической формы (в).

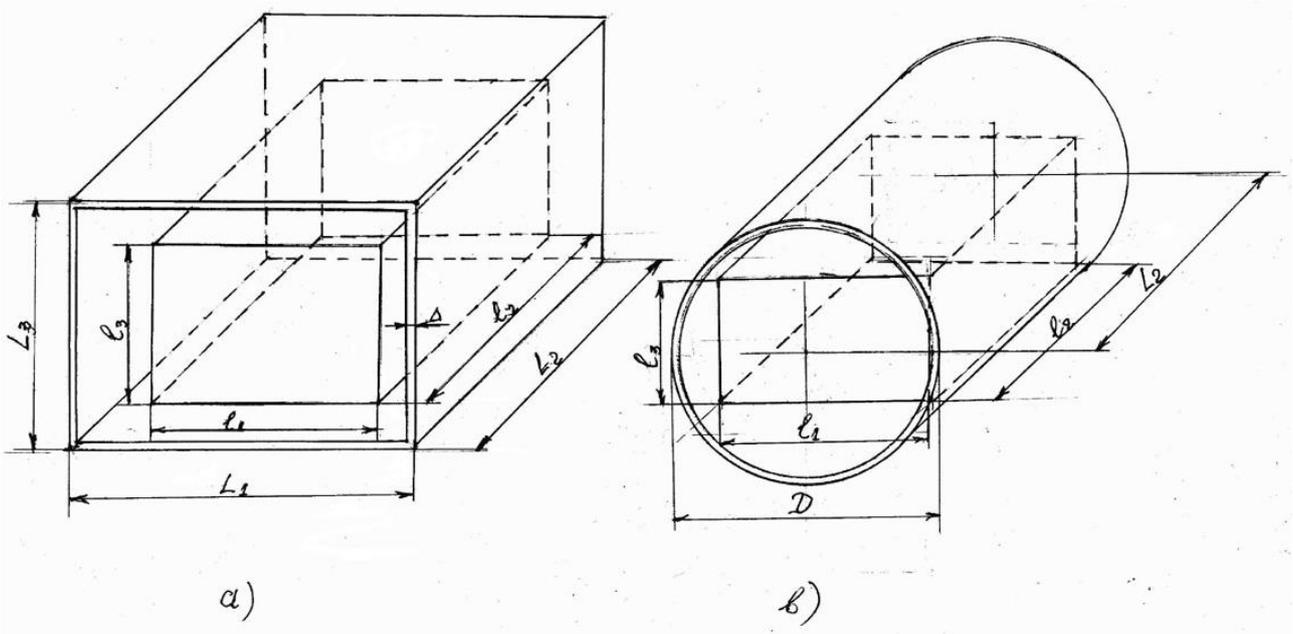


Рис.3.1. Модели блоков

2. Находят площади боковой ( $S_6$ ), верхней ( $S_в$ ) и нижней ( $S_н$ ) стенок блока  
 $S_6=2L_3(L_1+L_2)$ ,  $S_в=S_н=L_1L_2$ .

Область 1 расположена над нагретой зоной, область 2 под нагретой зоной, а область 4 между боковой поверхностью нагретой зоны и кожухом.

3. Определяют площади нагретой зоны обращенные в области 1, 2 и 4

$$S_{31}=S_{32}=l_1l_2, \quad S_{34}=2l_3(l_1+l_2).$$

4. Определяют приведенную степень черноты нагретой зоны в областях 1 и 2

$$\varepsilon_n = \left[ \frac{1}{\varepsilon_3} + \left( \frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right) \frac{S_3}{S_k} \right]^{-1},$$

где  $\varepsilon_3$  и  $\varepsilon_k$  - степени черноты зоны и кожуха в областях 1 и 2.

Приведенную степень черноты нагретой зоны в области 4 определяют ориентировочно по выражению

$$\varepsilon_{n4} = \varepsilon_3 \varepsilon_k$$

Так поступают в силу того, что размеры нагретой зоны обращенной в область 4 могут значительно отличаться от размеров шасси. Для блоков с заполнением в виде кассет или ячеек рекомендуется степень черноты боковой поверхности нагретой зоны определять по выражению для  $\varepsilon_n$ .

5. Используют выражение для ориентировочного нахождения тепловой проводимости участка от нагретой зоны к кожуху

$$\sigma_p^1 = 23(L_1 - 2L_4) \cdot (L_2 - 2L_4),$$

где  $L_4$  - толщина корпуса блока. Если блок имеет тонкостенный кожух, то можно толщину  $L_4$  не учитывать.

6. Задаются температурой перегрева кожуха ( $\Delta t_k$ ). Для блоков имеющих мощность тепловыделения 100...200 Вт при размерах 300...400 мм температура перегрева кожуха лежит в пределах 10...15 °С. Температура кожуха  $t_k = t_c + \Delta t_k$ . Определяющая температура  $t_m = (t_k + t_c)/2$

7. Для большинства одиночных блоков РЭС имеющих небольшую мощность тепловыделения конвективный теплообмен подчиняется закону  $1/4$  степени. Исходя из этого предположения находят коэффициент теплоотдачи  $\alpha_k$  для всех наружных поверхностей кожуха

$$\alpha_k = 0,54(\beta \cdot g \cdot P_r)_m^{1/4} \frac{\lambda_m}{\nu_m^{1/2}} \cdot \left( \frac{t_i - t_c}{L} \right)^{1/4} \cdot N,$$

где:  $\beta$  - коэффициент объемного расширения,  $K^{-1}$ ;

$g$  - ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ ;

$P_r = \frac{\nu}{a}$  - критерий Прандтля;

$\nu$  - кинематическая вязкость,  $m^2/c$ ;

$a$  - коэффициент температуропроводности,  $m^2/c$ ;

$\lambda$  - теплопроводность,  $Вт/(м.К)$  ;

$t_i$  - температура  $i$ -ой грани кожуха;

$L$  - определяющий размер, м.

Для вертикально ориентированной поверхности - высота, для горизонтально ориентированной поверхности - меньшая сторона.

$N$  - коэффициент ориентации нагретой поверхности.

$N=1$  - для вертикальной стенки;  $N=0,7$  - для нагретой поверхности обращенной вниз;  $N=1,3$  тоже обращенной вверх.

Выражение для  $\alpha_k$  воздуха можно представить в виде

$$\alpha_k = A_1 \cdot \left( \frac{t_i - t_c}{L} \right)^{1/4} \cdot N$$

Значения  $A_1$  находят из следующих данных для воздуха

$t_m$ °С	10	20	30	40	60	80	100
$A_1$	1,4	1,38	1,36	1,34	1,31	1,29	1,27

Для большинства блоков РЭС кожух выполнен из материала с хорошей теплопроводностью, поэтому его можно считать изотермической поверхностью и следовательно температура кожуха в любой точке будет одинакова.

7. Определяют коэффициент лучеиспускания

$$\alpha_l = \varepsilon_n \cdot \varphi_{12} \cdot f(t_1, t_2)$$

$$f(t_1, t_2) = 5,67 \frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100}\right)^4}{t_1 - t_2};$$

где:  $t_1$  – температура кожуха,

$t_2$  – температура среды,

$\varphi_{12}$  – коэффициент взаимного облучения. Для одиночного блока  $\varphi_{12}=1$ .

8. Находят полные коэффициенты теплоотдачи с поверхности кожуха.

$$\alpha_в = \alpha_{кв} + \alpha_{л}$$

$$\alpha_{н} = \alpha_{кн} + \alpha_{л}$$

$$\alpha_{б} = \alpha_{кб} + \alpha_{л}$$

9. Тепловая проводимость кожуха в окружающую среду будет

$$\sigma_к = \alpha_в S_в + \alpha_{н} S_н + \alpha_{б} S_б$$

10. Определяют температуру нагретой зоны в первом приближении.

$$t_3^1 = t_c + (t_k - t_c) \left(1 + \frac{\sigma_к}{\sigma_3}\right)$$

11. Находят расчетную мощность нагретой зоны в предположении, что кожух имеет перегрев  $\Delta t_k$  (выбранный).

$$P^1 = \sigma_к (t_k - t_c)$$

На этом заканчивается расчет в первом приближении.

Расчет во втором приближении предполагает определение тепловой проводимости от нагретой зоны к кожуху более точно.

12. Находят коэффициент теплоотдачи в верхней области 1. Поскольку область 1 замкнутая используют конвективно-кондуктивный коэффициент

$$k_i = N \cdot f\left(\frac{h_i}{l}\right) \cdot A_2 \cdot \sqrt[4]{\frac{t_3^1 - t_k}{h_i}}$$

где  $k_i$  – конвективно - кондуктивные коэффициенты верхней и боковой воздушной прослойки между нагретой зоной и внутренней поверхностью кожуха;

$h_i$  – толщина воздушной прослойки между нагретой зоной и кожухом в соответствующей области;

$$l = \sqrt{l_1 \cdot l_2} \quad \text{- для верхней области;}$$

$l = \sqrt{l_3 \cdot l_2}$  и  $l = \sqrt{l_3 \cdot l_1}$  – для боковых областей нагретой зоны и кожуха. Если расстояние между нагретой зоной и кожухом меньше трех

миллиметров, то конвекция отсутствует и в этой области передача тепла будет  $k = \lambda_0/h$ .

В области расположенной под нагретой зоной и кожухом конвекция всегда отсутствует, и теплопередача определяется теплопроводностью воздуха (среды).

Значения  $A_2$  для воздуха:

$T_m$ °C	0	50	100	200
$A_2$	0,63	0,58	0,56	0,44

Величину  $f(h_i/l)$  находят из графика (рис. 3.2).

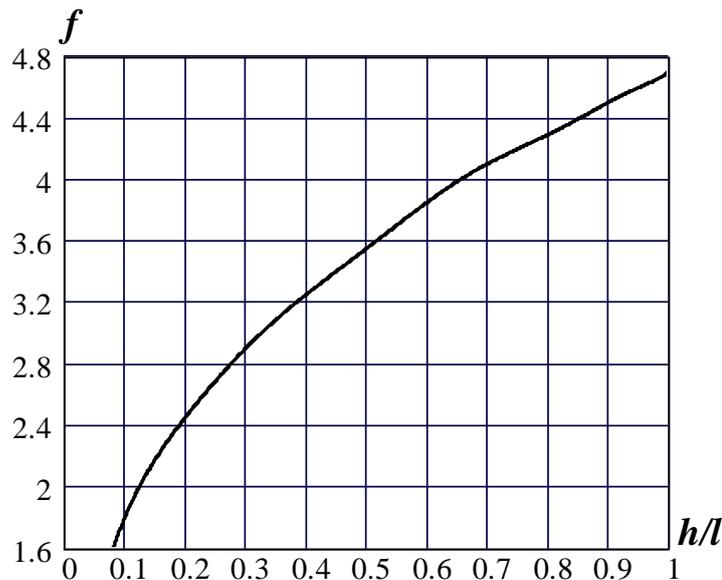


Рис.3.2. К расчёту конвективно-кондуктивного коэффициента

13. Определяют лучистую составляющую коэффициента теплопередачи областей 1, 2 и 4 для воздушного зазора между боковой поверхностью нагретой зоны и кожухом, при этом величина приведенной степени черноты полученная при расчете в первом приближении сохраняется, а коэффициент взаимной облученности принимается равным единице, температура нагретой зоны принимается равной температуре, полученной при расчете в первом приближении.

Получают величины  $\alpha_{n1}$ ;  $\alpha_{n2}$ ;  $\alpha_{k4}$ .

14. Вычисляют полные коэффициенты теплопередачи всех областей

$$K_1 = k_1 + \alpha_{n1} \quad K_4 = k_4 + \alpha_{n4} \quad K_2 = \lambda_2/h_n + \alpha_{n2}$$

Для нагретой зоны расположенной горизонтально.

Для нагретой зоны ориентированной вертикально коэффициенты теплопередачи будут:

$$K_1 = k_1 + \alpha_{n1}; \quad K_2 = k_2 + \alpha_{n2}; \quad K_4 = (k_1 + k_2)/2 + \alpha_{n4}.$$

15. Находят температуру нагретой зоны во втором приближении используя выражение:

$$t_3^n = t_c + P \left( \frac{1}{\sigma_3} + \frac{1}{\sigma_k} \right)$$

где:  $P$  – мощность полученная при расчете в первом приближении;

$\sigma_3$  – тепловая проводимость от нагретой зоны к кожуху, рассчитанная во втором приближении;

$\sigma_k$  – тепловая проводимость от кожуха в окружающую среду полученная при расчете в первом приближении.

16. Сравнивают температуры нагретой зоны полученные при расчетах в первом и во втором приближениях. Если разница составляет более 10%, то проводят расчет в третьем приближении, при этом значение температуры нагретой зоны вычисляют по выражению:

$$t_p^{111} = (t_3^1 + t_3^{11}) / 2$$

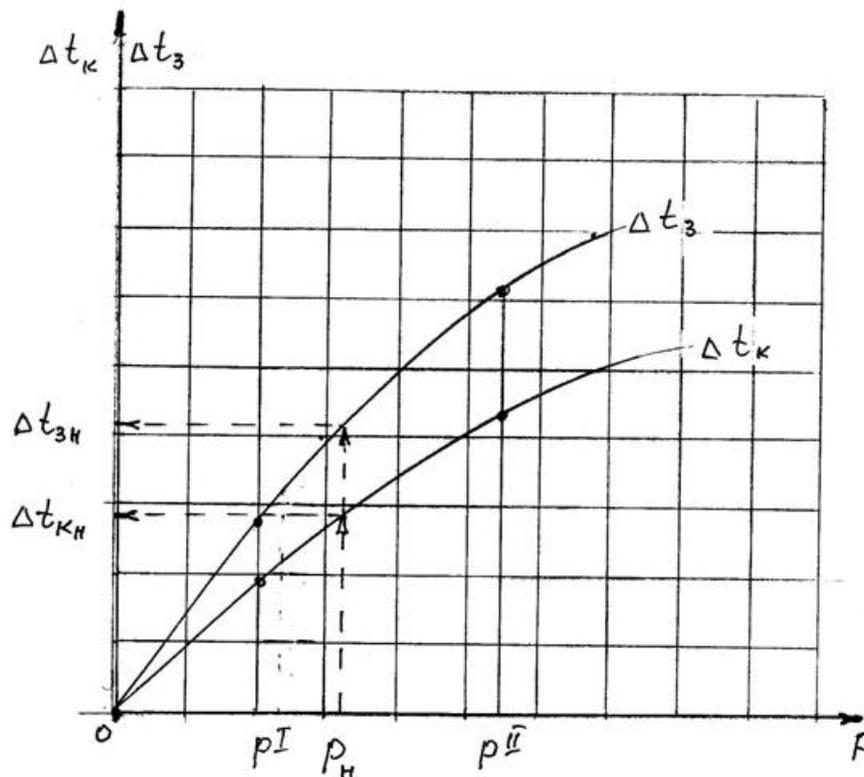


Рис.3.3. Тепловые характеристики

Получают одну точку тепловой характеристики блока  $\Delta t_3=f(P)$  и  $\Delta t_k=f(P)$  (рисунок 3.3). Вторая точка будет начало координат. Для получения третьей точки задаются другим значением температуры перегрева кожуха и проводят расчет заново. По трем полученным точкам строят характеристики  $\Delta t_3=f(P)$  и  $\Delta t_k=f(P)$ . Искомые температуры кожуха и зоны находят по этим характеристикам при мощности фактически рассеиваемой в блоке ( $P_H$ ). Если температура оказывается выше допустимой для элементов блока, то решают вопрос о применении другого вида охлаждения блока, например введение жалюзей или перфораций